

Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft

Jahrestagung

DBG 2023

Böden – divers & multifunktional

2. – 8. September 2023

Halle an der Saale

Exkursion Nr. 8 am 2. September 2023

# Einfluss von Bergbau und Metallverhüttung auf Böden und Landschaft im Südharz und Mansfelder Land

Henrik Helbig, Wolfgang Kainz, Michael Weller,

Konrad Schuberth, Peter Balaske

Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt

mit Beiträgen zur Bodenbiologie

von

Ines Koth<sup>1</sup> und Johannes Schneider<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt

<sup>2</sup>Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

RFA, Bodenchemie, Bodenphysik, Körnung

Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt

Schwermetalle (ICP-MS, AAS)

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt

## Inhalt

1. Einführung in das Exkursionsgebiet .....	3
1.1. Klima .....	3
1.2. Geologie und Relief .....	4
1.3. Boden.....	8
1.4. Flächennutzung, Wirtschaft und Bevölkerung .....	11
1.5. Geschichte des Kupferschieferbergbaus und Hüttenwesens .....	12
2. Folgen von Bergbau und Erzverhüttung für Böden und Landschaft .....	15
2.1 Trockenfallen des Salzigen Sees .....	15
2.2 Geländesenkungen .....	17
2.3 Halden und Pingen .....	18
2.4 Schwermetallbelastung in Böden und Sedimenten .....	22
2.5 Auswirkungen des Bergbaus auf die Waldvegetation im Harz .....	26
2.6 Aufforstung von Bodenbelastungsflächen .....	27
3. Die Exkursionspunkte 1 bis 4.....	27
3.1. Exkursionspunkt 1 – Altbergbaugebiet Wettelrode .....	27
3.1.1. Geologie.....	27
3.1.2. Montangeschichte .....	29
3.1.3. Boden- und Landschaftsveränderungen.....	30
3.2. Exkursionspunkt 2 – Schwermetallbelastungsflächen bei Helbra .....	35
3.2.1. Geologie.....	35
3.2.2. Ehemaliger Bergbau- und Hüttenstandort Helbra .....	35
3.2.3. Erzverhüttung und Geschichte der August-Bebel-Hütte .....	37
3.2.4. Bodenkundliche Untersuchungen auf Schwermetallbelastungsflächen .....	38
3.3. Exkursionspunkt 3 – Boden-Dauerbeobachtungs-Fläche Polleben .....	42
3.3.1. Geologie, Boden und Klima .....	42
3.3.2. Boden-Dauerbeobachtung in Sachsen-Anhalt .....	42
3.3.3. Untersuchungsergebnisse an der BDF Polleben .....	43
3.4. Exkursionspunkt 4 – Halde Fortschrittschacht (früher Wolfschacht) .....	46
4. Anhang – Bodenprofilaten .....	49
5. Anhang – Bodenbiologie .....	70
5. Literatur und Quellen .....	76

# 1. Einführung in das Exkursionsgebiet

Henrik Helbig, Wolfgang Kainz, Konrad Schuberth

Das Exkursionsgebiet liegt westlich von Halle (Saale) zwischen Saale und Harz (Abb. 1 u. 2). Die Exkursionsroute führt zunächst von der Saaleaue in Halle durch die schwarzerdebetonte Löss-Landschaft des Östlichen Harzvorlandes mit der Bennstedt-Nietlebener Platte und dem Mansfelder Seengebiet zwischen Süßem und ehemaligem Salzigen See. Nach Querung des Hornburger Sattels geht es durch das Südliche Harzvorland zum Exkursionspunkt 1 (EP 1) am Südrand des Unterharzes. Anschließend queren wir erneut den Hornburger Sattel. Die Exkursionspunkte 2 bis 4 liegen nur wenige Kilometer voneinander entfernt am Westrand des Pollebener Löss-Plateaus.

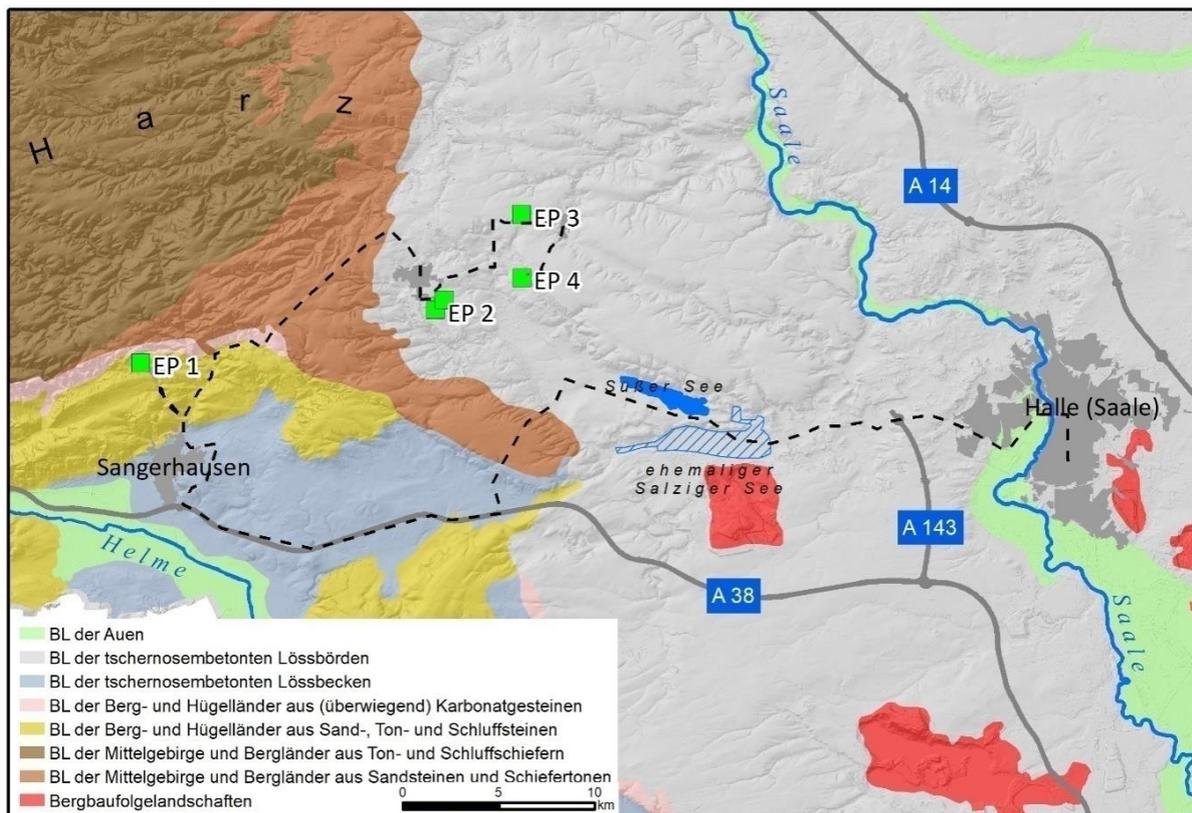


Abb. 1: Exkursionsroute mit den Exkursionspunkten 1 bis 4 in den Bodengroßlandschaften (KAINZ 1999a)

## 1.1. Klima

Nach der Karte der Boden-Klima-Räume in Deutschland liegt das Exkursionsgebiet im Gebiet der „Lößböden in der Ackerebene (Ost)“ sowie im „Harz“ (ROßBERG et al. 2007). Nach der Forstlichen Standortskartierung sind am Exkursionspunkt 1 mäßig trockene (Um) und an den Exkursionspunkten 1-4 trockene untere Lagen (Ut) erfasst. Sie liegen im Übergangsbereich des Mitteldeutschen Trockengebietes zum Harz.

Aus der Auswertung des Zeitfensters 1981 bis 2010 stammen die folgenden Angaben. Das Jahresmittel der Lufttemperatur liegt in weiten Teilen des Mansfelder Landes und des Südharzvorlandes zwischen 8,8 und 9,0 °C. Die Temperaturwerte sinken in Richtung Harz mit zunehmender Höhenlage. Eine relative Temperaturgunstlage im Exkursionsgebiet bildet das Gebiet der Mansfelder Seen (Süßer und ehemaliger Salziger See). Hier bewegen sich die Jahresmitteltemperaturen zwischen 9,6 - 9,8 °C.

Der Regenschatten des Harzes und Thüringer Wald bewirkt, dass das Jahresmittel der Niederschlags-summe in den trockensten Räumen des Exkursionsgebietes (Goldene Aue) nicht über 500 mm/a steigt (Datenreihe 1981-2010). Auch in den übrigen Bereichen liegen Niederschläge zumeist deutlich unter 600 mm/a, steigen aber innerhalb des Exkursionsgebietes im Unterharz auf knapp 700 mm/a.

Die relativ große Trockenheit des Gebietes wird deutlich, wenn man sich die Daten zur klimatischen Wasserbilanz vergegenwärtigt. Sie liegt im Jahresmittel der Datenreihe 1981-2010 im Bereich der Mansfelder Seen und der Goldenen Aue unter minus 100 mm/a, in den übrigen Bereichen unter 0 mm/a und steigt in Richtung Unterharz in den positiven Bereich.

Die Lage im Mitteldeutschen Trockengebiet und das durch die Seefläche und die Reliefgestaltung wärmebegünstigte Lokalklima sind natürliche Standortfaktoren für den Obst- und Weinanbau am Sü-ßen See und den Südhängen des Pollebener Löss-Plateaus.

## 1.2. Geologie und Relief

Das Exkursionsgebiet liegt im Mitteleuropäischen Schollengebiet, einer tektonisch aktivierten Tafel (WALTER 2007). Sie besteht aus tektonisch und stratigraphisch bestimmten Strukturstockwerken (KÖL-BEL 1968, KATZUNG & EHMKE 1993, BACHMANN & SCHWAB 2008), die im Exkursionsgebiet und seiner Um-gebung aufgeschlossen sind (vgl. RADZINSKI et al. 2008a).

Das **Grundgebirge** im Exkursionsraum entstand vom Jungproterozoikum bis Unterkarbon und bein-haltet von Nordwest nach Südost das Rhenohertzynikum, die Nördliche Phyllitzone und die Mitteldeut-sche Kristallinzone (BACHMANN & SCHWAB 2008, RADZINSKI et al. 2008a).

Das Rhenohertzynikum ist im Harz weitflächig aufgeschlossen und besteht aus verschiedenen „Ton-schiefern“, Grauwacken, Kieselschiefern, Diabasen mit lokalen Kalksteinvorkommen. Die Nördliche Phyllitzone streicht in der Wipp-raer Zone zu Tage und besteht aus anchimetamorphen Tonschiefern bis Phylliten, Grauwacken- und Grünschiefern sowie Quarziten. Die Mitteldeutsche Kristallinzone ist im nordöstlichen Fuß des Kyffhäusers aufgeschlossen. Sie besteht hier aus Gneisen, Amphiboliten und älteren Graniten. Außerhalb des Harzes, in der Querfurter Mulde, liegt das Grundgebirge über 3.000 m tief.

Mit der Variszischen Faltung und Granit-Intrusionen im Oberkarbon endet die Bildung des Grundge-birgsstockwerkes.

Das **Übergangsstockwerk** bildete sich während des Oberkarbons bis Rotliegenden (Permokarbon). In dieser Zeit wurde das Variszische Gebirge eingeebnet und diskordant mit kontinentalen, deluvialen und fluviatilen Sanden, Schottern und Schluffen bedeckt, aus denen sich die entsprechenden meist roten Festgesteine entwickelten, die zusammenfassend auch als Molasse bezeichnet werden. Rote Farbe und Lage zum Kupferschieferflöz führten im Mansfelder Bergbau zum Begriff „Rotliegendes“. Lokal und flächenhaft, nördlich und östlich von Halle sind in diesem Zeitraum überwiegend saure Vul-kanite und Pyroklastite (Rhyolithe, Ignimbrite und Tuffe) entstanden. Die permokarbonen Sedimente sind in einem südwest-nordost verlaufenden Trog, dem Saale-Becken, und intramontanen Senken des ehemaligen Gebirges abgelagert. Das Übergangsstockwerk ist im Kyffhäuser, auf dem Hornburger Sat-tel, der Halle-Hettstedter Gebirgsbrücke mit dem Saaletal bei Rothenburg und der Halle-Wittenberger Hochscholle aufgeschlossen. Es erreicht im Troginnenen über 2.000 m Mächtigkeit (RAPPSILBER 2003).

Das **ältere Tafeldeckgebirge** entstand seit dem jüngsten Paläozoikum, dem Zechstein, und reicht bis in die Obere Kreidezeit. Es wurde während relativer tektonischer Ruhe in einem großen, einheitlichem Sedimentationsgebiet abgelagert. Südsüdwest-nordnordost verlaufende Strukturen wirkten faziesbe-stimmend.

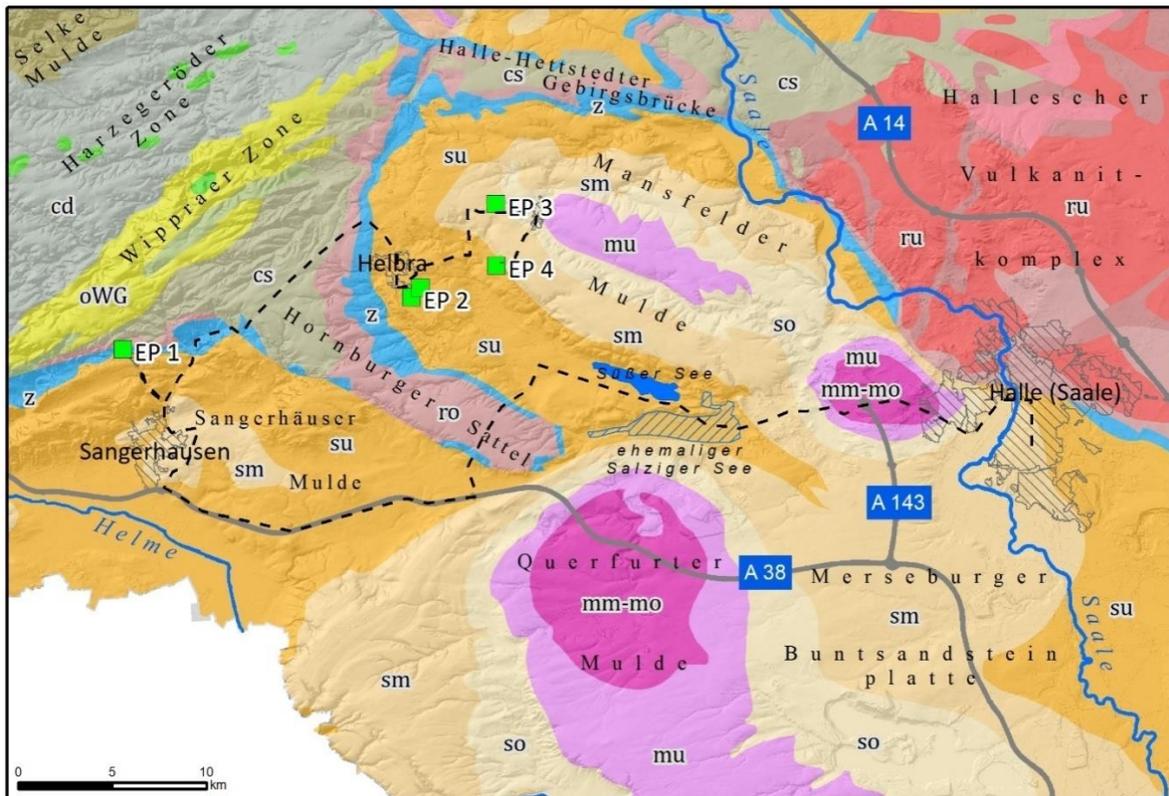


Abb. 2: Geologische Übersichtskarte ohne Känozoikum mit Exkursionsroute (gestrichelt) und Exkursionspunkten (EP). Geologische Einheiten: oWG: Wippraer Zone (Ordovizium bis Devon), cd: Unterkarbon (Dinant), cs: Oberkarbon (Siles) Molassebildungen, z: Zechstein, ru: Unterrotliegend, ro: Oberrotliegend su: Unterer Buntsandstein, sm: Mittlerer Buntsandstein, so: Oberer Buntsandstein, mu: Unterer Muschelkalk, mm: Mittlerer Muschelkalk, mo: Oberer Muschelkalk (nach Geologischer Übersichtskarte 1:400.000, verändert)

Langsame regionale Hebungen und Senkungen führten zu Unterbrechungen der kontinentalen Sedimentation durch Meeresvorstöße in unser Exkursionsgebiet. Hier sind bunte, rote und gelbe Schluff- und Sandsteine des Buntsandsteins sowie schillführende Kalk- und Mergelsteine des Muschelkalkes im tiefen Untergrund dominant (siehe Abb. 2). Die Sedimentation beginnt mit marinen dolomitischen, teils vererzten, kiesigen, gebleichten weißen Sandsteinen (Weißliegendem), vererztem bituminösem Mergelschiefer (Kupferschiefer), dunklem Kalkstein und Salinarzyklen des Zechsteins (Anhydrit/Gips, Steinsalz, Salzton). Kalisalzführende Salinarzyklen belegen das Trockenfallen ehemaliger Meeresbecken. Ihnen folgen kontinentale rote verschwemmte und fluviatile Sedimente, in denen Rogensteine im unteren Teil einzelne kurze Meeresüberflutungen belegen. Keuper, Jura und Kreide fehlen im Exkursionsgebiet. Aus umliegenden Vorkommen des Keupers wird auf sein früheres Vorhandensein geschlossen. Nach RADZINSKI et al. (2008a) fand nach der Trias eine weitgehende Einebnung statt. Aus der Verbreitung und der Fazies im altmärkischen Beckenbereich wird auf eine Beeinflussung der Sedimentation seit dem Mittleren Jura durch die Bruchschollen des Untergrundes geschlossen. Die Ablagerungen der Kreide im nördlichen Harzvorland belegen durch lokale Diskordanzen und Abtragungsprodukte intensive tektonische Schollenbewegungen und ein neues Bruchmuster (RADZINSKI et al. 2008b). Altersbestimmungen an hydrothermalen Gangmineralisationen der Mittelharzer Störungszone belegen Mineralabsätze und damit entsprechende tektonische Bewegungen seit der Trias bis zur Oberen Kreide (FRANZKE & ZERJADTKE 1999). Die Bewegungen werden als Auswirkungen der Kollision Afrikas mit Europa, den kimmerischen bis laramischen Phasen der Alpidischen Faltung gedeutet, die durch die Druckweiterleitung zur Bruchschollenbildung im Exkursionsraum führte. Dabei wurden alte Brüche reaktiviert und neue, in dominierend nordwest-südöstlicher herzynischer Richtung, verstärkt gebildet. Diese

intensive Bruchschollenbildung wird als Saxonische Gebirgsbildung bezeichnet. Eine gebirgsmechanische Besonderheit sind in diesem Strukturstockwerk mächtige Steinsalzlager im Zechstein. Das Salz verhält sich unter Druck plastisch und wandert in Bereiche geringen Drucks ab. Im Exkursionsgebiet wurden Salzwanderungen durch die oben genannten Schollenbewegungen ausgelöst und führten im Salzdeckgebirge zu neueren Störungen (Salztektonik), Aufwölbungen und Absenkungen, die im Tertiär die Sedimentation beeinflussten. Die Saxonische Gebirgsbildung beendet die Entwicklung des älteren Tafeldeckgebirges.

Das **jüngere Tafeldeckgebirge**, auch Lockergesteins-Stockwerk genannt, entwickelte sich seit dem Alttertiär (Paläogen) bis heute. Es ist wieder eine Phase tektonischer Ruhe mit langsamen regionalen Hebungen an nord-süd gerichteten Strukturen (EISSMANN 1994) und Senkungen im Norden. „Im Alttertiär, möglicherweise auch schon in der Kreide, fand bei warmfeuchtem subtropischem Klima eine intensive Verwitterung und Abtragung statt, ...“ (KUNERT 1998). Es bildeten sich ausgedehnte Rumpfflächen und Tafelberge mit flächendeckender saprolithischer bzw. fersialitischer Bodenbildung. Im Alttertiär setzte sich die Bildung von Salzsätteln und dazugehörigen Zonen der Salzabwanderung, den Randsenken, fort. Salzlösung im Untergrund der oberflächennahen Salzlager (Subrosion) und die Randsenken bildeten lokale dynamisch absinkende Sedimentbecken und Sedimentfallen. Aus den damaligen Sümpfen entstanden die teils mächtigen Braunkohle-Vorkommen, wie z. B. im Geiseltal-Revier. Langsame regionale Senkungen im Norden führten zur Wanderung der Küstenlinie der tertiären Meere über unser Exkursionsgebiet. Im Süden Sachsen-Anhalts sind Fluss- und Schwemmlagerungen nachgewiesen, Kiese, Sande und Schluffe. Mit dem Meer wurden glaukonithaltige Sande und Schluffe sowie marine Tone (Rupelton) abgelagert.

Im Quartär wurden Flussterrassen aus südlichen Liefergebieten aufgeschottert. Sie verzahnen sich mit den Ablagerungen der Vereisungszyklen der Elster- und Drenthe-Zeit. Letztere sind im Exkursionsgebiet als Schmelzwassersande, Geschiebemergel und -lehme am Aufbau von Bodenprofilen beteiligt. Nach der Drenthevereisung wurde die Landschaft durch starke Frostwechsel geprägt. Ältere und jüngere Löss- und Löss-Derivate, Schutte und Fließerden bildeten die Lockergesteinsdecken. Fluss- und Seeablagerungen, Abschlämmsmassen und Halden sind die jüngsten, holozänen bis rezenten in Karten dargestellten Ablagerungen.

Der Schollenbau des älteren Tafeldeckgebirges ist die Grundlage der regionalen Differenzierung der erhaltenen Schichtenfolgen und ihrer Mächtigkeiten. Das Exkursionsgebiet wird von zwei geologischen Großeinheiten (Hochschollen) flankiert, die aus Gesteinen des Paläozoikums aufgebaut sind (Abb. 2). Es sind der Harz mit dem Hornburger Sattel im Westen und der Hallesche Vulkanitkomplex im Osten.

Dazwischen und südlich davon wird der prätertiäre Untergrund von Tiefschollen durch Ablagerungen des Mesozoikums bestimmt. Auf den Tiefschollen kommen folgende Strukturelemente vor: im Südwesten die Sangerhäuser Mulde, im Süden die Querfurter Mulde sowie im Norden die Mansfelder Mulde mit ihren beiden Teilmulden, der Schwittersdorfer Mulde im Westen und der Nietleben-Bennstedter Mulde im Osten.

Das Mosaik aus Hoch- und Tiefschollen entstand während der Saxonischen Gebirgsbildung. Dabei entstanden Bruch- und Spaltensysteme, wie die markante Hallesche Störung am Westrand des Halleschen Vulkanitkomplexes. An ihr sind im Stadtgebiet von Halle die Schollen vertikal um 600 m versetzt („Hallesche Marktplatzverwerfung“, RAPPSILBER 2006). Am Marktplatz traten an dieser Störung zahlreiche Salzquellen aus, die die natürliche Grundlage für die Entstehung der 961 erstmals erwähnten Stadt waren.

Auf den Hochschollen wurde das Tafeldeckgebirge abgetragen, so dass verbreitete Bildungen des Grundgebirges oder Übergangsstockwerkes zu Tage treten: Ordovizium bis Unterkarbon im Harz, Oberkarbon und Rotliegendes im Bereich des Hornburger Sattels.

Im Gebiet der Tiefschollen war die Erosion geringer. Es haben sich Sedimentgesteine vom Unteren Buntsandstein bis zum Oberen Muschelkalk erhalten.

Eine Besonderheit ist der schmale Streifen aus Bildungen des Zechsteins, der die Hochschollen umsäumt und besonders am Südrand des Harzes sowie am Südwestrand der Mansfelder Mulde zur Entstehung eines markanten Oberflächen- und Tiefenkarstes geführt hat. Die Basis des Zechsteinprofils bildet der Kupferschiefer. Er wurde fast 800 Jahre lang, bis 1990, im Gebiet um Mansfeld und Sangerhausen abgebaut und verhüttet.

Im Bereich des herzynisch nordost-südwest streichenden Teutschenthaler Sattels, einer langgestreckten Aufwölbung, in die Salze aus den benachbarten Mansfelder und Querfurter Mulden einwanderten, liegt die Zechsteinoberfläche stellenweise nur 200 m tief. An den Sattelflanken setzte der Kalibergbau an (z. B. Schacht „Krügershall“, später „Deutschland“ / „Ernst-Thälmann“ bei Teutschenthal mit Gewinnung von Kaliflöz Staßfurt und markanter Spitzhalde sowie Schacht „Ernsthall“ bei Wansleben).

Durch Subrosion wurden oberflächennahe Bereiche des Teutschenthaler Sattels abgelautet. Es kam zu weitflächigen Geländesenkungen. Östlich von Eisleben entstand ein großes Salzspiegeltal (Salzspiegel 150 m unter Gelände). An seinen tiefsten Stellen bildeten sich langgestreckte Seen, der Süße See und der 1889 bis 1894 trocken gelegte Salzige See.

Am Nordostrand der Mansfelder Mulde, zwischen Halle und Friedeburg, existiert ein weiteres Salzspiegeltal, das von der Saale durchflossen wird.

Enge Durchbruchstäler der Saale befinden sich sowohl oberhalb dieses Abschnitts, flankiert von den Rotliegend-Rhyolithen des Halleschen Vulkanitkomplexes am Halleschen Giebichenstein, als auch weiter unterhalb, eingeschnitten in oberkarbone Sandsteine und Konglomerate der Halle–Hettstedter Gebirgsbrücke bei Rothenburg.

Die mesozoischen Sedimente der Tiefschollen sind stellenweise von Bildungen des Tertiärs (Eozän bis Unteroligozän) verhüllt, die in Becken vor Erosion geschützt waren (z. B. bei Niederröblingen, mit aktivem Braunkohletagebau der Firma Romonta zur Montanwachsgewinnung). Erst weiter im Osten, im Gebiet der Merseburger Buntsandsteinplatte, sind tertiäre Sedimente flächenhaft verbreitet und wurden in Großtagebauen gewonnen (z. B. ehemalige Braunkohletagebaue um Halle und Merseburg).

Das Relief des Mansfelder Landes wird weithin geprägt von einer flachwelligen Hochfläche, die sich vom östlichen Unterharz nach Osten von knapp 300 auf ca. 150 m ü NN abdacht. Sie verebnet sowohl die Gesteine des Harzer Grundgebirges als auch die unterschiedlich verwitterungsbeständigen mesozoischen Gesteine des Deckgebirges. Es handelt sich um eine Rumpffläche, die unter tropisch-subtropischen Klimabedingungen im Tertiär gebildet wurde. Man nimmt an, dass eine starke seitliche Erosion der Flüsse und Flächenspülung zur Einebnung der Oberfläche maßgeblich beitrugen.

An der Geländeoberfläche stehen, abgesehen von Steilstufen und Talflanken, fast flächendeckend Bildungen des Quartärs an. Die Harzvorländer und Teile des Unterharzes wurden vom Inlandeis der Elster-Kaltzeit überfahren. Während des Maximalvorstoßes des Inlandeises der Saale-Kaltzeit (Drenthe-Stadium) war der Unterharz dann nicht mehr vergletschert. Während des Warthe-Stadiums der Saale-Kaltzeit und der Weichsel-Kaltzeit lag das gesamte Exkursionsgebiet im Periglazialraum. An der Oberfläche dominieren deshalb drenthe-zeitliche Sedimente (Geschiebemergel, Schmelzwasserbildungen, Becken- und Stauseebildungen). In den Harzvorländern sind sie weitflächig mit mächtigen, meist weichsel-kaltzeitlichen Lössdecken überzogen. Auf ihnen haben sich Schwarzerden entwickelt. Im Gebiet des Harzes mit dem Hornburger Sattel sind dagegen periglaziale Schuttdecken charakteristisch. Nur selten tritt hier eine, meist dünne, Lössbedeckung auf.

Holozäne Ablagerungen kommen vor allem in den Auen der Bäche und Flüsse vor (Auenlehm, Auen sand, Moorbildungen), aber auch in den Seeniederungen. Anthropogen geprägte Flächen sind

neben den Siedlungsgebieten die Halden des Kupferschiefer-, Kalisalz- und Braunkohlenbergbaus sowie verfüllte Restlöcher des Abbaus von Steinen, Erden und Braunkohle.

### 1.3. Boden

Die Exkursion führt an den südlichen und östlichen Rand des Harzes. Hier streicht der Kupferschiefer aus und beeinflusst die dortigen Böden direkt und indirekt. Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt aus der Bodenübersichtskarte 1:200.000, Blätter Goslar (gsl) im Westen und Leipzig (lpzg) im Osten. An Hand dieser Abbildung werden die Böden überblicksmäßig beschrieben. Die im folgenden Text verwendeten Abkürzungen „gsl“ und „lpzg“ mit nachfolgenden Nummern beziehen sich auf die Nummer der Kartereinheiten des jeweiligen Blattes. Tab. 1 zeigt den Aufbau wichtiger Leitböden am Harzrand und auf dem Pollebener Löss-Plateau und Tab. 4 die Parameter der dazugehörigen Substrat-Horizont-Gruppen.

**Die Auenlandschaften:** In der *Saale-Aue* kommen Veges (lpzg 3) aus lössbürtigem Auenlehm (Tonschluff) in den jüngeren, tieferliegenden Auebereichen vor. Schwarzerdeähnliche Auenböden (lpzg 2), Tschernitzen aus lössbürtigem Auenlehm (Tonschluff) sind an höhergelegene, ältere Auebereiche gebunden. Stellenweise kommen Pelosol-Tschernitzen (lpzg 1) vor. Die *Goldene Aue* (Auengebiet der Helme zwischen Südharz und Windleite/Kyffhäuser) ist ein Staubeereich für Hochwässer und dementsprechend breiter. Pseudogley-Veges aus Auenlehm über Auenton und aus Auenlehm über Schwemmlöss oder Auenton (gsl 6) nehmen große Flächen ein.

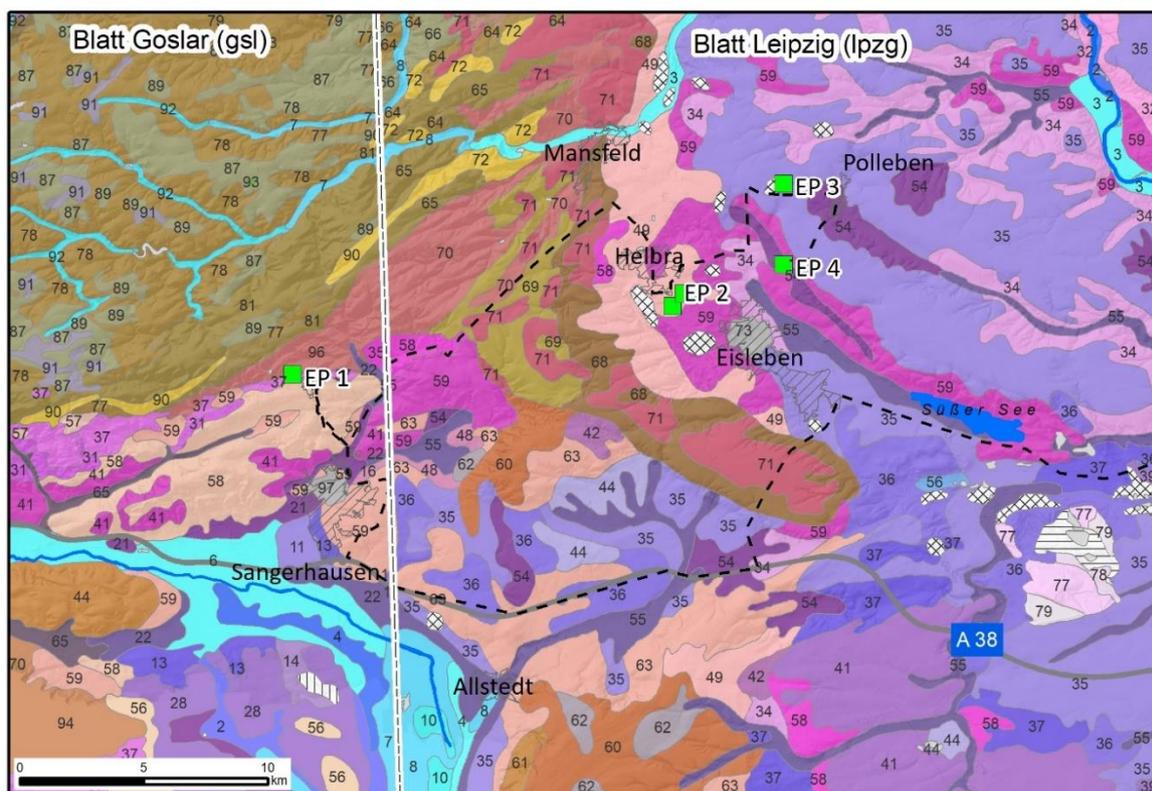


Abb. 3: Ausschnitt aus der Bodenübersichtskarte 1:200.000, Blätter Goslar (gsl) im Westen und Leipzig (lpzg) im Osten.

Auch hier kommen schwarzerdeähnliche Auenböden, Gley-Tschernitzen bis Tschernitzen vor (gsl 2 und 4). Gleye, Humus- und Anmoorgleye aus Auelehm weisen auf feuchtere, ehemals vermoorte Gebiete im Zentrum dieser Bodenlandschaft hin (lpzg 8 und 10; gsl 7).

Bodenland-schaft	Bodentyp	Substrat-typ	Hauptbo-denform	Folge der Substrat-Horizontgruppen
Pollebener Löss-Plateau	TT-YK	uz-u(Lo)// p-u(Lo)	eö KT	Axp: uz-u(Lo); Axh: uz-u(Lo)   Axh: p-u(Lo); Sg-Axh: p-u(Lo) / Sg: f-eu(Lou)
	RZn	p-eu(Lo)// pfl-eu(Lo)	ö C	Axp: p-eu(Lo); elCc: p-eu(Lo); elCc: pfl-eu(Lo)
	BBn	p-u(Lo)/ p-eu(Lo)	ö B	Axp: p-u(Lo); rAxp: p-u(Lo); Bv: p-u(Lo); elCc: p-eu(Lo)
	TTn	p-u(Lo)/ p-eu(Lo)	ö T	Axp: p-u(Lo); rAxp: p-u(Lo); Axh: p-u(Lo); elCc: p-eu(Lo); elCc: pfl-eu(Lo)
	BB-TT	p-u(Lo)/ p-eu(Lo)	ö W	Axp: p-u(Lo); Axh: p-u(Lo); Bv-Axh: p-u(Lo); Bv: p-u(Lo); elCc: p-eu(Lo); elCc: pfl-eu(Lo)
	LL-TT	p-u(Lo)// pfl-eu(Lo)	ö I	Al-Axp: p-u(Lo); Bht-Axh: p-t(Lo); Ael+Bt: p-t(Lo); Scg: pfl-eu(Lou); Scg: f-eu(Lou)
Lössbeeinfluss-ter Harz-rand	BB-eLF	p-u(Lo)// p-eu(Lo)	ö BF	Axp: p-u(Lo); rAxp: p-eu(Lo); Bv: p-u(Lo); Ael+Bt: p-t(Lo); Sd-Bt: p-t(Lo); elCc: p-eu(Lo); elCc: pfl-eu(Lo)

Tab. 1: Abfolge von Substrat-Horizont-Gruppen in ausgewählten Leitböden aus Löss auf dem westlichen Pollebener Löss-Plateau und dem lössbeeinflussten Harzrand. Kürzel nach KA5; Kürzel der Hauptbodenform nach TGL 24300; „|“ Wechsel zwischen Holozän und Weichselkaltzeit; „/“ Wechsel zwischen Decklagen und Untergrund

Zwei Entwicklungsreihen bestimmen das Inventar der Böden der schwarzerdebetonten Löss-Landschaften:

#### 1. Erosions- und Akkumulations-Abfolge der Löss-Böden:

Die Ausgangsformen sind Norm-Tschernoseme bis Braunerde-Tschernoseme und Kalktschernoseme (lpzg 35, 36, 37, 41; gsl 11, 14, 28). Seit dem Beginn des Ackerbaus in der frühen Jungsteinzeit, vor ca. 7.000 Jahren (GRÜNBERG 1996), unterliegen diese Böden der Erosion. Erodierte Schwarzerden machen den weit überwiegenden Anteil der Pararendzinen aus, mit denen sie vergesellschaftet sind. Das durch Pflügen und Abspülung erodierte Bodenmaterial sammelte sich auf Hangfußflächen, in Rinnen und Schwemmkegeln oder baute Böschungen in den Ackerfluren auf. Hier entwickelten sich tiefgründige, nährstoffreiche schwarzerdeähnliche Böden (Tschernosem-Kolluvisole). Die Bodenformen bestehen aus Löss bzw. Löss über verschiedenem Untergrund.

Die Bodencatenen der Erosions- und Akkumulations-Abfolge sind reliefabhängig. Sie bestehen aus den Schwarzerden (lpzg 35, 36, 37, 41) – humosen, teils kalkhaltigen Braunerden – Pararendzinen (lpzg 34) bis Rendzinen (lpzg 59) – Tschernosem-Kolluvisolen (lpzg 54; gsl 21) – Tschernosem-Gley-Kolluvisolen bis Gleyen (lpzg 55, 56; gsl 22).

## 2. Die Degradations-Abfolge der Böden durch Entkalkung, Verbraunung und Léssivierung:

Norm- und Braunerde-Tschernoseme sind Reliktböden, deren Bildung unter Steppenbedingungen erfolgte und bereits im älteren Atlantikum (ca. 7.000 Jahre vor heute) abgeschlossen war (ALTERMANN & MANIA 1968, Czerny 1965, MANIA, ALTERMANN & RAU 1995). Jüngere archäologische Grabungen bestätigen das (u. a. KAINZ, KLAMM, POLIFKA & WIEDNER, im Druck). Unter den heutigen klimatischen Bedingungen regenerieren sich diese Böden nicht mehr. Sie verdanken ihre Erhaltung der Niederschlagsarmut des Mitteldeutschen Trockengebietes und ihrer frühen ackerbaulichen Nutzung. Die Waldnutzung dieser Böden führt langfristig zum Abbau der Humusgehalte im Oberboden, zu Versauerung und Tonverlagerung (KAINZ 1999b). Tabelle 1 zeigt die Abfolge von Substrat-Horizont-Gruppen in ausgewählten Leitböden aus Löss auf dem westlichen Pollebener Löss-Plateau und dem lössbeeinflussten Harzrand.

In den Randbereichen der schwarzerdebetonten Bodenlandschaften und auf den über 200 m NN liegenden Löss-Plateaus überwiegen Braunerde-Tschernoseme (Ipszg 41). Sie leiten zu den Parabraunerde-Tschernosemen (früher Griserden) über, die nach ihrer Entstehung lessivierte, durch Versauerung und Tonverlagerung überprägte Schwarzerden sind. Parabraunerde-Tschernoseme wurden auf dem Pollebener Löss-Plateau bereits in der forstlichen Standortkartierung erkannt (GRÖBNER et al. 1980: Sp.LL = Sprötauer Löss-Grisrede), auf Ackerflächen im Bereich des östlichen Harzrandes aber nicht unterschieden bzw. zu Fahlerden (Ipszg 49) zusammengefasst. Der Name Parabraunerde-Tschernoseme kennzeichnet die Schwarzerde-Vergangenheit dieser Böden und in der Regel eine jüngere Bewaldung.

Braunerde-Fahlerden bis Fahlerden sind demgegenüber frühere und teils heutige Waldstandorte und stehen ohne lateralen Übergang neben den Parabraunerde-Tschernosemen. Die Bodencatenen der Degradations-Abfolge bestehen aus Norm-Tschernosemen bis schwach verbraunten, degradierten Tschernosemen (Ipszg 35, 36, 37; gsl 11, 14) - Braunerde-Tschernosemen (Ipszg 41; gsl 28) – Parabraunerde-Tschernosemen (in Ipszg 49 enthalten) – Humusparabraunerden (lokal, nicht auskartiert).

Neben diesen Entwicklungsreihen sind noch die substrat- und lagebedingten stauwasserbeeinflussten Schwarzerden (meist Pseudogley-Tschernoseme) zu erwähnen (in Ipszg 36 erfasst).

Die (überwiegend) **mesozoischen Berg- und Hügelländer mit Löss** erhalten ihren landschaftlich-morphologischen Reiz durch den Wechsel von verwitterungsbeständigen, "harten" (Kalksteine, Sandsteine) und leicht verwitterbaren, "weichen" (Schluffsteine, Sand-Schluffstein-Wechselagerungen) Gesteinen. Das Zerbrechen dieser Schichten in große Schollen durch die gebirgsbildenden Kräfte und die Abtragstätigkeit der Flüsse schufen hieraus Schichtstufenlandschaften und Tafelberge mit Steilhängen und hoch über den Flüssen liegenden Plateaus. Im Kartenausschnitt (Abb. 3) werden folgende Bodengesellschaften gezeigt:

- Pararendzinen und Parabraunerden (überwiegend erodierte Lessivé-Böden) aus Hanglöss über Verwitterungsmaterial (Ipszg 59; gsl 41)
- Braunerde und Parabraunerde (überwiegend erodierte Lessivé-Böden) aus Löss über Verwitterungsmaterial (Ipszg 60; gsl 56)
- Braunerde und Regosole über Sandstein (Ipszg 61; gsl 44)
- Pseudogley und Pseudogley-Parabraunerden aus Löss über Lehmfließerde aus Ton- und Schluffstein (Ipszg 62)
- Braunerde-Fahlerden aus Löss und lössbürtigen Substraten (Ipszg 63; gsl 58, 59)

**Im Südhärzer Zechsteingürtel** treten Gipse zutage, die die Landschaften durch ihre Karsterscheinungen, ihr Mikroklima, ihre Flora und die weißen Felswände der Steinbrüche prägen. Auf Steilhängen und Felsklippen sind sehr flachgründige Kalkstein- bzw. Gips-Rendzinen bis -Rohböden entwickelt (gsl 31). Bei geringer Lössdecke sind Pararendzinen bis Rendzinen über Kalkstein und selten über Gips (Ipszg 58, gsl 35) verbreitet. Auf Hanglehm über Carbonatgestein des Zechsteins kommen Pararendzinen und Braunerde-Pararendzinen vor (gsl 37).

Der **lössbeeinflusste östliche Harzrand mit dem Hornburger Sattel** besteht aus Sandsteinen und Schiefertonen des Permokarbons. Sie werden von Fließerden und Schutten überlagert, die ihrerseits von Löss und Hanglöss (skeletthaltiger Löss) bedeckt sind. Auf den Plateauflächen dominieren Braunerde-Fahlerden und Parabraunerden in Löss-Decken (lpzg 71). Über Schiefertone sind Braunerde-Fahlerden bis Pseudogleye in skeletthaltigem Löss über lehmig-tonigen Fließerden entwickelt (lpzg 70; gsl 96). Über Sandstein sind podsolige Braunerden aus skeletthaltigem Sandlöss über Lehmschutt die Leitböden (lpzg 70, 69; gsl 96). Braunerden sind die typischen Böden der Hanglagen (lpzg 68). Sie kommen bevorzugt in sandigen und skelettreichen Decken vor und sind unter Wald oft podsoliert.

Böden des Harzes sowie der Halden und Kippen des Braunkohlenbergbaus sollen hier unberücksichtigt bleiben.

Der Abbau des Kupferschiefers hat die Bodenlandschaften östlich und südlich des Harzes stark beeinflusst. Auf den Ausstrichen des Kupferschiefers prägen alte Bergbauspuren mit vielen kleinen Halden und Einsturztrichtern (Pingen) das Landschaftsbild (Exkursionspunkt 1, Sonderstandort Soa bzw. So36 der digitalen Forstlichen Standortkarte). Es sind nährstoffkräftige Waldstandorte. In den Abbau- und Hüttenzentren der Reviere Sangerhausen und Eisleben-Hettstedt sind auf großen Flächen Abraum- und Schlackehalden angelegt worden (lpzg schräg-gekreuztes Raster = Halden ungegliedert).

Die Böden der Stadtkernbereiche von Eisleben (lpzg 73) und Sangerhausen (gsl 97) wurden als stark versiegelte anthropogene Auffüllungen beschrieben.

#### 1.4. Flächennutzung, Wirtschaft und Bevölkerung

Das Exkursionsgebiet liegt im Landkreis Mansfeld-Südharz. Er befindet sich im Südwesten des Bundeslandes Sachsen-Anhalt. Mit Stand 31.12.2021 lebten im Landkreis 132.317 Einwohner auf einer Fläche von 1.449 km<sup>2</sup>. 58,5 % der Fläche werden landwirtschaftlich und 27,9 % forstwirtschaftlich genutzt. Die landwirtschaftliche Fläche besteht zu 86,7 % aus Ackerland, zu 10,5 % aus Dauergrünland und zu 2,8 % aus Obstplantagen, Weinanbau usw.

Das Gebiet ist heute - bis auf den bewaldeten Unterharz und Hornburger Sattel und die Städte Eisleben und Sangerhausen - bezüglich der Flächennutzung überwiegend agrarisch geprägt (siehe oben). Die weithin sichtbare Montanwachsfabrik Romonta bei Amsdorf mit eigenem Braunkohle-Tagebau ist einer der letzten verbliebenen Standorte des ehemals stärker industriell-bergbaulich geprägten Gebietes zwischen Bennstedt, Teutschenthal und Amsdorf (Braunkohle, Kalisalz, Ziegeleien, Lebensmittelverarbeitung, Chemieindustrie). Ein zweites, auf der Kupferschiefererzverhüttung basierendes Industrie- und Bergbaugebiet befand sich im unmittelbaren östlichen Harzvorland zwischen Eisleben und Hettstedt. Diese Tradition wird bis heute von einigen Betrieben der Metallverarbeitung und des Maschinen- und Anlagenbaus in Eisleben und Hettstedt fortgesetzt. Hettstedt gilt als wichtiger Standort der Nichteisenmetallurgie in Europa.

Der Journalist Uli Wittstock verglich 2021 in einem Beitrag für den Mitteldeutschen Rundfunk (MDR Sachsen-Anhalt) das Mansfelder Land mit dem Rust Belt in den USA. Nur noch jeder zehnte Einwohner sei jünger als 18 Jahre, dafür ein Viertel älter als 65. Als wesentlichen Grund dafür sieht er das abrupte Ende des Kupferbergbaus 1990. Das ist allerdings nicht ganz korrekt, denn im Mansfelder Revier wurde der Bergbau bereits 1969 eingestellt. Die Belegschaften der Mansfelder Schächte wurden damals in das Sangerhäuser Revier umgesetzt oder erhielten neue Arbeitsplätze in der Region. Gegen den Strukturwandel der 1960/70er Jahre war die von der letzten DDR-Regierung verordnete Insolvenz des Mansfelder-Kombinates mit seinen 55.000 Beschäftigten 1990 ein regelrechter „Strukturbruch“ (Zitat MDR). In der Folge verließen zahlreiche Menschen das Mansfelder Land, darunter insbesondere junge Frauen. Zur Wahrheit gehört allerdings auch, dass Abwanderung aus der Region bereits vor 1990 ein Problem war.

Die negative Bevölkerungsentwicklung im Landkreis Mansfeld-Südharz ist anhand der Zahlen des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt nachvollziehbar. So lag der Geburten- bzw. Gestorbenenüberschuss je 10.000 EW in 2020 bei -109,2 (DEU: -25,5). Die negative Tendenz nimmt zu, der Gestorbenenüberschuss steigt stärker als im gesamtdeutschen Mittel.

Der Wanderungssaldo war in 2020 mit 16,8 je 10.000 EW inzwischen wieder positiv (DEU: 26,5), tendenziell sogar steigend. Er nähert sich dem gesamtdeutschen Durchschnitt an.

Das Bruttoinlandprodukt (BIP) je Erwerbstätigen betrug in Mansfeld-Südharz im Jahr 2020 56.925 EUR (DEU: 75.005 EUR). Die Arbeitslosenquote lag 2021 mit 9,7 % (DEU: 5,7 %) zwar vergleichsweise hoch, weist aber mit Ausnahme der Jahre 2019-2021 mindestens seit 2007 (21,2 %) eine sinkende Tendenz auf.

Der Anteil der Erwerbstätigen [%] in ausgewählten Sektoren in 2020 stellt sich wie folgt dar:

- Land- und Forstwirtschaft, Fischerei: 2,5 (DEU 1,3)
- Produzierendes Gewerbe: 30,6 (DEU 24,0)
- Verarbeitendes Gewerbe: 19,1 (DEU 16,9)
- Dienstleistungsbereiche: 66,9 (DEU 74,7)
- Finanz, Versicherung, Unternehmensdienstleistungen, Grundstücks- und Wohnungswesen: 9,9 (DEU 17,1).

Die Bruttoentgelte je Beschäftigten in der Industrie betragen 2020 31.500 EUR (DEU: 50.000). Der Gesamtbetrag der Einkünfte je Steuerpflichtigen lag 2018 bei 31.100 EUR (DEU 42.100). Das verfügbare Einkommen je Einwohner (EUR) wurde 2020 mit 20.777 EUR (DEU 23.752) angegeben. Die steigende Tendenz aller drei genannten Entgelt- bzw. Einkommenskategorien entspricht dem bundesdeutsche Trend. Richtig gut steht der Landkreis Mansfeld-Südharz bei der Kinderbetreuung da. Die Quote der Ganztagsbetreuung der 3 bis 5-Jährigen betrug 2021 71,8 % (DEU: 47,3).

## 1.5. Geschichte des Kupferschieferbergbaus und Hüttenwesens

Nach JANKOWSKI & REMUS (1963) „sind durch Funde in Gräbern oder alten Schmelzstellen Beweise erbracht, dass vor rund 5.000 Jahren, das heißt während der Bronzezeit, aus dem Kupferschiefer schon Metall gewonnen wurde.“ In der Broschüre ‚Zur Geschichte des Sangerhäuser Kupferbergbaus‘ (BERG-BAUMUSEUM RÖHRIG-SCHACHT 1996) werden dazu folgende Angaben gemacht:

3000 v.u.Z.	Erste Kupfergewinnung gegen Ausgang der Jungsteinzeit am Ausgehenden des Kupferschieferflözes entlang des Südharzrandes
1900 - 900 v.u.Z.	Aufleben des Kupferbergbaus in der Bronzezeit am Südharzrand, nachgewiesen durch Funde von Schmelzstellen nördlich von Morungen sowie Pingen und Schürfgärten am Ausbiss
1000	Spenglers Funde an der Schlackenhalde am Sachsenkopf bei Morungen deuten auf Schmelzstellen und Bergbau um 1000
1006	Kaiser Heinrich II. schenkt Gut Godefriedsrod in der Bennunger Mark an das Bistum Merseburg mit dem Recht der Ausbeute auf Silber und Gold
1199	Beginn des Kupferbergbaues in der Grafschaft Mansfeld lt. Angabe in der Mansfeldischen Chronik von Spangenberg von 1572

Einen weiteren Hinweis auf bronzezeitlichen Kupferbergbau in Mitteldeutschland geben RÜGER & DECKER 1992: „Archäologische Funde aus der Spätbronzezeit im Bereich des Saalfeld-Kamsdorfer Lagerstättenbezirkes bei Röblitz sowie auf dem Gleitsch bei Fischdorf weisen bereits [...] auf vorhandene Verhüttungsanlagen in dieser Gegend hin.“

Nach neuerer Grabung auf dem Kamp bei Wettelrode negiert BODE (1996) den Bergbauhinweis durch die oben angeführte Schenkung in der Bennunger Mark mit dem Hinweis, dass die „Ausbeute auf Silber und Gold“ keinen Bezug zum Kupferschiefer darstellt. Der Kupferschiefer ist aber silberführend und bei günstigen oberflächennahen Verhältnissen möglicherweise damit angereichert. Die Untersuchungsergebnisse von BURMESTER (2015) bei Sittichenbach im Sangerhäuser Revier machen Bergbau im frühen Mittelalter im Zusammenhang mit der Klostergründung Sittichenbach 1141 wahrscheinlich und schließen noch älteren Bergbau nicht aus.

Nach erster urkundlicher Erwähnung begann der Bergbau auf Kupferschiefer in der Region des Mansfelder Beckens um 1200. Der Spangenbergischen Chronik nach hatten die beiden Berghauer Nappian und Neucke bei Hettstedt das seinerzeit noch leicht zu erschließende, weil an der Erdoberfläche austreichende Kupferschieferflöz entdeckt. Die beiden Berghauer schmolzen es probeweise auf und stellten einen hohen Kupfergehalt fest. In dieser Phase des Bergbaus konnte noch oberhalb des Grundwasserspiegels gearbeitet werden und man kam ohne Wasserhaltungs- und Wetterführung aus. Das Gestein wurde an mehreren Stellen gleichzeitig gewonnen und wurde meist an Ort und Stelle verhüttet.

Am Exkursionspunkt 1 in Wettelrode sind Anlagen aus dieser Bergbauepoche nachgebaut worden. Die Gewinnung erfolgt mittels kleiner Schächte (Abb. 4), den sogenannten Duckeln. Die Schächte wurden bis auf die Lagerstätte abgeteuft. Ihr Durchmesser betrug 75 cm, teils bis 1,35 m. Die Abstände zwischen den Duckeln betragen etwa 20 m. Die Teufen lagen bei 4 bis 6 m, teils bei bis zu 10 m.

Die Schächte wurden oftmals mit einem Ausbau aus Reisigruten versehen (Reifenschacht). Die Stollen wurden strahlenförmig in die Lagerstätte gegraben. Die Lagerstätte wurde so weit wie möglich, etwa 6 – 7 m um den Schacht herum ausgebeutet. Der Abbau erfolgte beim Duckelbau immer nur auf der Sohle. Die Abbauhöhe betrug kaum mehr als 0,5 m. Teilweise erfolgte ein Versatz der bereits abgebauten Hohlräume mit Abraum.

Ab Mitte des 15. Jahrhunderts wurde der Abbau komplexer. Die Schächte mussten dem schräg abfallenden Flöz in die Tiefe folgen (siehe Kapitel Geologie). Die Ableitung des in die Schächte strömenden Wassers verursachte steigende Kosten. So schloss sich ein Teil der „Hüttenmeister“ (Kleinunternehmer/Eigenlöhner oder Pächter von Hütten- und Schachtanlagen) zu „Gewerkschaften“ oder „Gewerken“ zusammen. Sie kauften gemeinsam das notwendige Betriebsmaterial (z.B. Holzkohle) und betrieben gemeinsam die Wasserhaltung.

1483 wird Martin Luther in Eisleben geboren. Ein Jahr später siedelt die Familie Luther (Luder) nach Mansfeld um. Hans Luder pachtet dort eine Schmelzhütte. Martin Luther verbrachte in Mansfeld seine Kinder- und Jugendjahre und kehrte auch später desöfters als Berater der Grafen von Mansfeld dorthin zurück. Bei einem dieser Besuche verstarb er 1546 in Eisleben.

1536 enteigneten die Grafen von Mansfeld die Hüttenmeister, um den Betrieb auf eigene Rechnung fortzuführen. Sie teilten die Schächte und Hütten unter sich auf, was mit dem Begriff der „Feuerteilung“ beschrieben wird und so in die Regionalliteratur eingegangen ist. Damals zählte man 110 Hütten um Eisleben, Mansfeld und Hettstedt.

Ab dem 17. Jahrhundert begann der Vortrieb von teilweise sehr langen Stollen, um das Kupferschieferflöz auch in tieferen Bereichen abbauen zu können.

1785 kam in Burgörner die erste von deutschen Arbeitern aus einheimischem Material gebaute Dampfmaschine zum Einsatz. Sie diente der Wasserhaltung. In den Hütten setzte sich allmählich die Koksfeuerung durch.

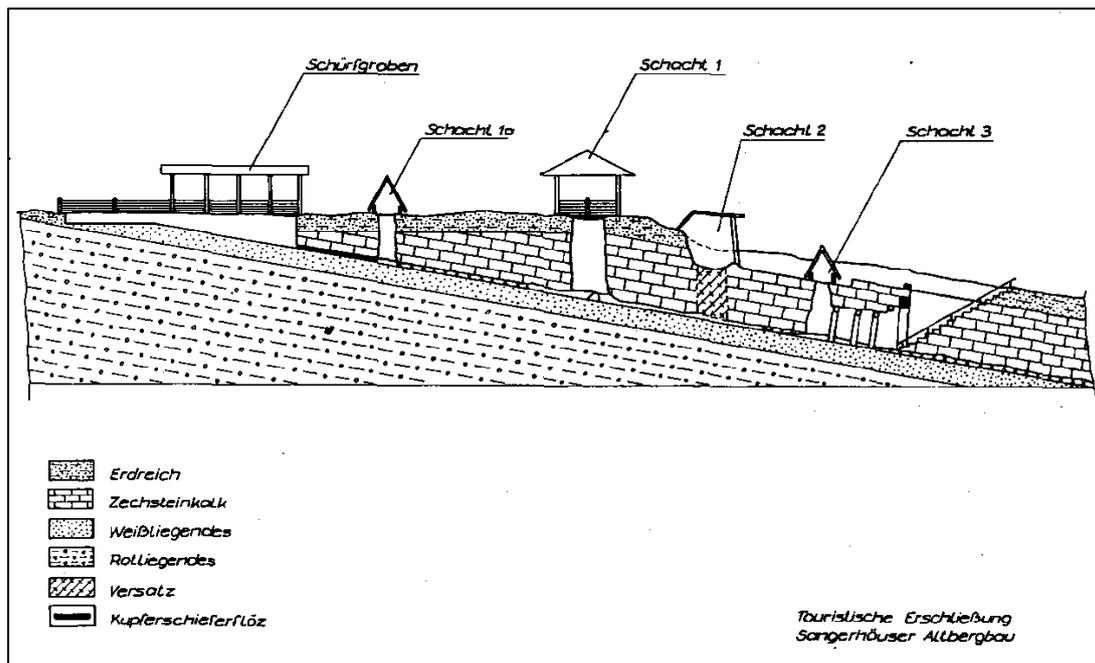


Abb. 4: Schnittdarstellung der frühen Bergbauobjekte auf dem Bergbaulehrpfad Wettelrode (Exkursionspunkt 1), aus GRUNOW 1996, S. 24

1864 hatte die inzwischen gegründete Mansfeldische Kupferschieferbauende Gewerkschaft eine Reihe neuer Schächte angesetzt, darunter die erste moderne Tiefbauanlage, den Ernstschacht bei Helbra. Es wurden nun mechanisierte Förderanlagen, künstliche Wetterführung und unterirdische Pumpenanlagen eingesetzt. Der Abbau drang in Tiefen von 140 m bis zu 600 m vor. 1885 waren im Kupferschieferbergbau 14.516 Personen beschäftigt; diese hatten 19.227 Angehörige. Das waren zusammen drei Fünftel der im Abbaugbiet wohnenden Bevölkerung.

Die Mitte des 19. Jahrhunderts geteuften Schächte befanden sich noch am Rande der Mansfelder Mulde und erschlossen Teufen bis ca. 200 m. Mit zunehmender Teufe des Abbaus verlagerten sich entsprechend des Einfallens des Kupferschieferflözes sowohl Abbausohlen als auch Förderschächte und Halden in die Mitte der Mansfelder Mulde (Abb. 7).

Die bis Ende der 1960er Jahre betriebenen Förderschächte Vitzthum (Ernst Thälmann), Paul (Otto Brosowski) und Wolf (Fortschritt I) lagen bereits im Zentrum der Mansfelder Mulde und hatten über zum Teil lange Querschläge Anschlüsse bis zur 11. Sohle. Die noch tiefer liegenden Sohlen wurden nur über Flachen und mit einer Zahnradbahn erreicht. Die Förderung des Kupferschiefers in Teufen bis zu 995 m wurde schließlich unrentabel, darüber hinaus setzte in diesen Teufen bereits eine Vertaubung des Flözes ein. 1969 wurde mit der Einstellung der Förderung auf dem Otto-Brosowski-Schacht der Bergbau in der Mansfelder Mulde stillgelegt. Die Grubenbaue wurden ab 1970 geflutet.

Mitte der 1930er Jahre begann der Neuaufschluss der Sangerhäuser Lagerstätte und 1942 die Sumpfung des Röhrigschachtes bei Wettelrode. Weitere Schachtanlagen im Sangerhäuser Revier folgten, so der Thomas-Müntzer-Schacht und der Bernard-Koenen-Schacht.

Starke Wasserzuflüsse ab Mitte der 1980er Jahre erschwerten den Grubenbetrieb. Das Grubenfeld Thomas Müntzer wurde 1990 aufgegeben und ab 1992 geflutet. 1990 wurde auch die Schachtanlage Bernard Koenen stillgelegt – im Gegensatz zur Schachtanlage Thomas Müntzer allerdings aus rein wirtschaftlichen Gründen. Der als Wetterschacht dienende Röhrigschacht dient seit 1991 als Besucherbergwerk.

## 2. Folgen von Bergbau und Erzverhüttung für Böden und Landschaft

Wolfgang Kainz, Henrik Helbig

### 2.1 Trockenfallen des Salzigen Sees

Der ehemalige Salzige See (875 ha) liegt auf der Exkursionsroute von Halle nach Eisleben nördlich und südlich der B 80 (Abb. 1 u. 2). Der ebene, heute beackerte Seeboden und vereinzelte Feuchtstellen bzw. Schilfinseln nördlich der Straße sind gut erkennbar. Nach deutlicher Geländestufe folgt in Richtung Eisleben der Süße See.

Seit Ende des 19. Jahrhunderts versickerte das Seewasser des Salzigen Sees durch Erdfälle in Auslaugungshohlräume des im Untergrund lagernden Steinsalzes und in Grubenbaue des Kupferschieferbergbaus. Seitdem wird ein großer Teil der ehemaligen Seefläche durch Pumpen trocken gehalten.

#### *Geologische Situation*

Der Salzige See erhielt seinen Namen wegen des Salzgehaltes, der im 19. Jahrhundert zwischen 0,15 und 0,39 % betrug und periodisch schwankte (RADZINSKI et al. 1962). Salziger und Süßer See sind Gewässer in Senkungsstrukturen. Sie liegen über einer mächtigen Aufwölbung des Staßfurt-Steinsalzes (Zechstein), dem Teutschenthaler Salzsattel. In ungestörter Lagerung wird das Salz durch Ton-, Schluff- und Sandsteine des Buntsandsteins bedeckt. Durch die Aufwölbung entstanden Risse und Störungen im Salzdeckgebirge. Das dort zirkulierende Wasser löste Salz im Untergrund. Dadurch ist das Salzdeckgebirge im Bereich des Salzigen Sees zerrüttet und bildet eine Einsturzbrecchie. Westlich von Oberröblingen stehen eozäne Tone, Schluffe und Sande an. Sie lagern in der südlichen Randsenke des Teutschenthaler Salzsattels und enthalten Braunkohlenflöze, die Gegenstand des Bergbaus waren und sind (RADZINSKI 1961, RADZINSKI et al. 1972, 2001).

Der ehemalige Salzige See liegt im Bereich des am höchsten aufgewölbten Teils des Teutschenthaler Salzsattels. Im Pleistozän, zwischen der Ablagerung der Mittel- und Niederterrasse, begann die Ablagerung des Salzes, die zum Einbruch der Salzdeckschichten führte und dadurch die Senke für die Eislebener Seen bildete (RADZINSKI et al. 1962). Der Salzige See entwickelte sich seit ca. 9.000 Jahren ausgehend von einzelnen Senken (SUDERLAU 1975). Im jüngeren Atlantikum (vor ca. 5.000 Jahren) erreichte der See seine heute bekannte Ausdehnung, lagerte hellen Seemergel ab und überflutete dabei Schwarzerden im südlichen Randbereich (ALTERMANN & MANIA 1968, ALTERMANN & KÜHN 1995: S. 242, damaliges Exkursionsprofil). Die regionale Hornburger Tiefenstörung unterquert den Seeboden des Salzigen Sees und zeichnet sich durch eine Zone von Erdfällen und wahrscheinlich Salzkuppeln ab (HOYNINGEN-HUENE 1947).

Der Salzspiegel, die relativ niveaubeständige und durch Salzlösung verursachte Oberfläche des Steinsalzes, liegt heute bei etwa -125 bis -110 m NN, also ca. 200 m unter dem alten Seeboden. Der Salzgehalt des Seewassers resultierte aus Quellen an seinem Rand (LAU 2012) und auf seinem Grund.

#### *Einfluss der Wasserhaltung auf den Seespiegel*

Für den Kupferschieferbergbau wurden mit der Zeit immer tiefere und größere Bereiche unter Tage wasserfrei gehalten. Die Wasserhaltung entzog auch dem südlich bis südöstlich gelegenen Seengebiet Grundwasser, das von hier den nördlich bis nordwestlich gelegenen Grubenbauen zufließte. Damit kehrte sich die Grundwasser-Fließrichtung um. Aus einem ehemaligen Grundwasser-Entlastungsgebiet bzw. -Zehrgebiet wurde ein Grundwasser-Nährgebiet.

Die Wasserhaltung im Kupferschieferbergbau erfolgte in der Frühphase mit Gefäßen, Kübeln und Bulgen, im 17. und 18. Jahrhundert mit Wasserkünsten durch Menschen-, Pferde-, Wasser- oder Windkraft. Ab Ende des 18. Jahrhunderts kamen dampfgetriebene Wassersäulenmaschinen und Wasserballen und schließlich elektrische Pumpen zum Einsatz.

Als mit Einführung der Dampfmaschine 1785 die Tiefbauperiode für den Kupferschieferbergbau in der Mansfelder Mulde begann und der Grundwasserspiegel schnell fortschreitend auch bis weit unter Vorflutniveau bzw. unter das Niveau der Entwässerungsstollen abgesenkt wurde, kehrte sich das hydrostatische Druckpotenzial im Seegebiet allmählich um und der See verlor Wasser in den Untergrund.

Auf seinem Weg durch den Zechstein-Untergrund löste das Wasser die dortigen Salze und schuf zusätzliche Hohlräume. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts sank der Grundwasserspiegel um den See merklich. Brunnen und Quellen versiegten und der Seespiegel ging deutlich zurück. Vereinzelt traten Erdfälle und Senkungsspalten auf (LAU 2012). Die Folge waren Wassereinbrüche in die Schachanlagen des Kupferschieferbergbaus:

Die ersten schweren Wassereinbrüche ereigneten sich 1884 im ca. 12 km nordwestlich gelegenen Otto-Schacht und besonders 1889 mit Schüttungsmengen bis zu 22 Kubikmeter pro Minute im benachbarten Klotilde-Schacht (4. Sole bei -170 m NN). Ende des 19. Jahrhunderts überstiegen schließlich die unterirdischen Wasserverluste den oberirdischen Zufluss aus den Fließgewässern Weida und Böse Sieben. Der Seespiegel war bis Mitte Februar 1892 langsam von ehemals 89 m NN auf 87,2 m NN gesunken.

Ab Frühjahr 1892 begann das Seewasserniveau rapide zu sinken. Ab Mai/Juni 1892 war der Seespiegel soweit abgesunken, dass auch die Salza, ein Fließgewässer, das vom See gespeist wurde, kein Wasser mehr führte (LAU 2012). Ursache war der Erdfall „Teufe“ im westlichen Salzigen See. Das Wasser brach in mehrere Schächte des Kupferschieferbergbaus ein.

Zwei Jahre später im Jahre 1894 erreichte der fallende Seespiegel den Großerdfall „Teufe“ auf dem Seegrund und machte ihn der direkten Beobachtung zugänglich. Es zeigte sich, dass der Erdfall wie ein Schluckloch wirkte. Ein Versuch, das weitere Einstromen von Seewasser in den Großerdfall durch eine Dammschüttung zu verhindern, schlug fehl.

Zwischen 1882 und 1894 versanken ca. 75 Mio. Kubikmeter Wasser aus dem Salzigen See in den Untergrund und flossen in die Grubenbaue. Die Zuflüsse in die Grubenbaue stammten allerdings nicht ausschließlich aus dem Salzigen See, sondern in erheblichem Umfang auch aus den natürlichen Karstwasserreservoirs.

Um eine weitere Gefährdung der Grubenbaue auszuschließen, wurde der Salzige See 1894 von der Bergbaugesellschaft, der Mansfelder Gewerkschaft trockengelegt. Bereits 1895 konnte der ehemalige Seeboden landwirtschaftlich genutzt werden. Der Boden des Salzigen Sees wurde tief rigolt. Dadurch wurde der Seemergel teilweise mit unterlagernden humosen Substraten gemischt und seine Sorptionskapazität erhöht. Durch die landwirtschaftliche Nutzung wurde ein mächtiger humoser Oberboden aufgebaut und die Nährstoffgehalte erhöht.

Nach Einstellung des Kupferschieferbergbaus 1970 dauerte der Wiederanstiegsprozess in den Kupferschieferschächten der Mansfelder Mulde bis 1981. Mit Einstellung des Kupferschieferbergbaus entfiel aus Bergbausicht die Notwendigkeit der weiteren Trockenhaltung des Sees. Der hohe Stellenwert der landwirtschaftlichen Nutzung in der DDR und drohende weitere Folgekosten für zu ersetzende Infrastruktur gaben 1969 den Ausschlag für die Entscheidung des ehemaligen Rates des Bezirkes Halle, den Salzigen See nicht wieder entstehen zu lassen.

### *Kehrt der Salzige See zurück?*

Bereits ab Anfang/Mitte der 1980er Jahre erreichte und überstieg der Grundwasserspiegel in Teilen des ehemaligen Seebeckens wieder das Vorflutniveau. Seither haben sich in den flachen Senken neue kleine Seeflächen gebildet. Allerdings hatte die Ausweitung von Vernässungsflächen bereits lange vor Einstellung der Wasserhaltung eingesetzt. Hauptursache hierfür waren fortlaufende Geländesenkungen, da die durch bergbauliche Wasserhaltung deutlich verstärkte Subrosion auch nach Leerlaufen des Sees andauerte.

Der Landtagsbeschluss von 1996 zur vollständigen Renaturierung des Salzigen Sees wurde aus Kosten- und Zuständigkeitsgründen bisher nicht umgesetzt. Im Oktober 2007 wurde die Liquidierung der "Entwicklungs- und Sanierungs-Gesellschaft Seengebiet Mansfelder Land mbH" bekannt gegeben. Sowohl die Entscheidung für als auch gegen den See erfordert erhebliche Aufwendungen, um die infrastrukturellen und technischen Voraussetzungen dafür in seinem gesamten Einzugsgebiet zu schaffen oder zu erhalten. Es muss z. B. entschieden werden, wie die Wasserqualität in den dem Seebecken zufließenden Vorflutern, der Weida und dem Süßen See, beschaffen sein soll (VMBH e.V. et al. 2008).

Seit 2003 gehört der Salzige See zum Landschaftsschutzgebiet „Süßer und Salziger See". Ein Teil des ehemaligen Salzigen Sees ist heute Naturschutzgebiet, dessen Flächen dem NABU e.V. gehören.

Zu den dortigen Vegetationsgesellschaften gehören Schilf-Röhrichte, Strandsimsen-Brackwasserröhrichte und Uferseggen-Riede aber auch Weidengehölze, extensive Feuchtwiesen, Streuobstwiesen, Trocken- und Halbtrockenrasen, Felsfluren, Trockengebüsche, intensiv genutztes Grünland, Ackerbrachen und Äcker.

Rund 120 Vogelarten brüten hier. Zahlreiche Watvögel sowie Enten, Rallen und Schreitvögel suchen während des Frühjahrs- und Herbstzuges die Schlammareale auf. Seltene und bestandsbedrohte Libellen, Heuschreckenarten, Lurche und Kleinsäuger haben im NSG ihren Lebensraum. Viele bestandsbedrohte Laufkäferarten leben auf den extensiv bewirtschafteten Äckern bzw. Ackerbrachen. (NABU, 2022)

## 2.2 Geländesenkungen

Das Thema Geländesenkungen infolge des Bergbaus wird für das Mansfelder Revier ausführlich in STROBEL et al. (2008) behandelt. Wir geben hier stark verkürzt die wesentlichen Fakten wieder.

Bewegungen der Tagesoberflächen sind zurückzuführen auf

- Abbausenkungen infolge der Verformung des Hangenden über dem Grubengebäude und
- Subrosionssenkungen durch Auflösung der salinaren Zechsteinsedimente.

Dies führte zu bruchlosen Senkungen, engräumigen Geländeeinbrüchen (Erdfälle) und/oder Spaltenbildungen.

### *Abbausenkungen*

Die Mächtigkeit des Kupferschieferflözes betrug ca. 0,4 m. Die Abbauhöhe lag in den letzten Jahrzehnten vor Beendigung des Bergbaus bei etwa 0,9 m in Teufen bis zu 1.000 m und großflächigem Abbau. Die Abbausenkungen an der Tagesoberfläche betrugen ca. 0,4 m, verliefen gleichmäßig und hatten ihre größten Beträge in den ersten beiden Jahren nach Verhieb. Sie waren nach spätestens 10 Jahren abgeklungen. Die Senkungsmulde bildete sich sehr flach aus.

### *Subrosionssenkungen*

Eine eher indirekte Wirkung des Bergbaus auf die Erdoberfläche wurde durch Auslösung oder Beschleunigung des natürlichen Subrosionsgeschehens infolge der Entwässerung der Grubenbaue hervorgerufen. Davon betroffen waren in erster Linie bauliche Anlagen, z. B. im Stadtgebiet von Eisleben. Die bergbaulich-subrosiven Einsenkungen summieren sich bis heute auf maximal ca. 4 m, in Eisleben sogar bis 6 m. Bruchartige Absenkungen traten bis 12 m Tiefe auf.

Mit Einstellung des Bergbaus und Flutung der Grubenbaue in den 1970er Jahren kam es gebietsweise zu einer Reaktivierung von Lösungsprozessen und einer verstärkten Senkung mit Folgeschäden für die Bausubstanz. Danach klang das Senkungsgeschehen im Allgemeinen allmählich ab. Probleme bereitet allerdings weiterhin vor allem einer der insgesamt fünf Senkungskessel im Stadtkern von Eisleben. In einigen Senkungsgebieten wurde auch eine „Quasi-Rückverformung“ des Gebirges und Wiederanhebung der Erdoberfläche registriert. Der Grund hierfür ist das Erreichen von Anhydritlagern durch das Karstwasser und das Aufquellen dieser Schichten durch die Vergipsung des Anhydrites.

Das LAGB sensibilisiert Bewohner, lokale Wirtschaft und Verwaltung nach wie vor für die Gefahren durch Subrosion: Da die Auslaugung der subrodierbaren Gesteine weiterhin aktiv ist, können sich bekannte und unbekannte Geländesenken bzw. Erdfälle jederzeit reaktiven.

Weiterhin gibt es Austräge von Salzen und Metallen im Grubenwasser des Schlüsselstollens in der Mansfelder Mulde und des Seegen-Gottes-Stollens im Revier Sangerhausen. Zwar hat sich der Austrag von Salzen verringert, beträgt aber im Schlüsselstollen immer noch etwa 8 kg Salz pro Sekunde (vor allem NaCl). Dazu kommt eine Reihe von Metallen, von denen Zink mit 300-400 kg/d die Hauptkomponente bildet.

### 2.3 Halden und Pingen

Während zahlreiche Zeugen des Kupferschieferbergbaus im Mansfelder Land bereits verschwunden sind, blieben viele der Halden bis heute erhalten und sind Teil der Kulturlandschaft geworden.

Unter **Halden** werden Aufschüttungen auf der Erdoberfläche verstanden, deren Material aus dem Abraum der Bergwerke stammt. Abraum ist das „abgeräumte“ Gestein, das beseitigt werden muss, um an das Erz zu kommen, meistens das Deckgebirge aus der Abteufung der Schächte, manchmal auch Kupferschiefer, dessen Erzgehalt den Anforderungen nicht entsprach, nicht konditionsgerecht war. Letztere Halden wurden gesondert angelegt.

Neben den Bergbau-Halden gibt es auch großflächige Schlackehalden, Schlammteiche und sonstige Ablagerungsplätze der Hüttenwerke.

**Pingen** sind meist Hohlformen durch den Einsturz unterhöhlten Gesteins als Folge bergmännischer Tätigkeit. Entsprechend der Auflockerungszone und Gesteinsfestigkeit sind sie verkehrt kegelförmig oder steil zylinderförmig ausgebildet. Seltener sind Pingen auch offen gelassene kleinere Tagebaue.

SCHMIDT & FRÜHAUF (2000, S. 76) haben auf Grundlage verschiedener Quellen 6 Haldengenerationen (aus überwiegend natürlichen Substraten) unterschieden:

Zeitabschnitt	Größe/Form	Lage	Material	Kupfergehalt [mg/kg]
vor 1200	heute nicht mehr erkennbar	am Ausgehenden	Schieferzersatzgrus	unbekannt
1200 - 1400	Höhe: < 1 m, Fläche: 25-30 m <sup>2</sup> , heute grötenteils verschwunden	50 - 100 m breiter Streifen entlang des Ausgehenden	Schieferzersatzgrus	900 - 9000
1400 - 1670	Höhe: 1-4 m, Fläche: 100-200 m <sup>2</sup> , Hügel mit erkennbarem Trichter	Ca. 700 m breiter Saum parallel zum Ausgehenden	Zechsteinkalke, einzelne Kupferschieferlagen	800 - 5000
1670 - 1815	Höhe: 6-10 m, Fläche: 600-1000 m <sup>2</sup> , Hügel mit ausgeprägtem Plateau	Im Anschluß an Zone 3, weitmaschigeres Netz	Zechsteinkalke, einzelne Kupferschieferlagen	100 - 5000
1815 - 1910	Höhe: 15-20 m, 1.500-10.000 m <sup>2</sup> , Flachhalden mit Plateau und steiler Böschung	Konzentration an Kraftlinien bis ins Innere der Mansfelder Mulde	Zechsteinkalke, Ausschläge, Anhydrit	200 - 1400
1910 - 1969	Höhe: bis 130 m, Fläche: 30.000-120.000 m <sup>2</sup> , Flach- und Spitzkegelhalden	3., später nur noch 4. Schachtreihe	Zechsteinkalke, Ausschläge, Anhydrit, Steinsalz	außer Ausschlägeanteil kupferfrei

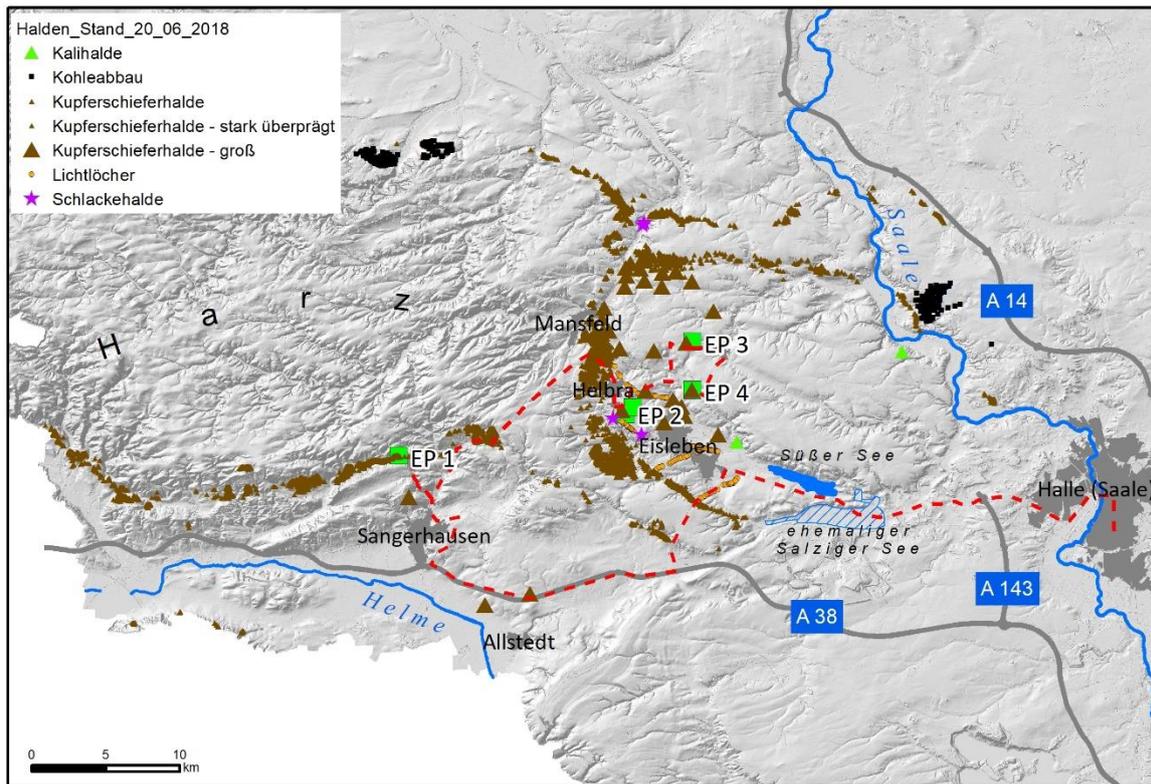


Abb. 5: Digital erfasste Halden zwischen Harz und Saale. Eigene Darstellung auf Basis des LAGB-Kartenservers. EP=Exkursionspunkte; gestrichelt: Exkursionsroute.

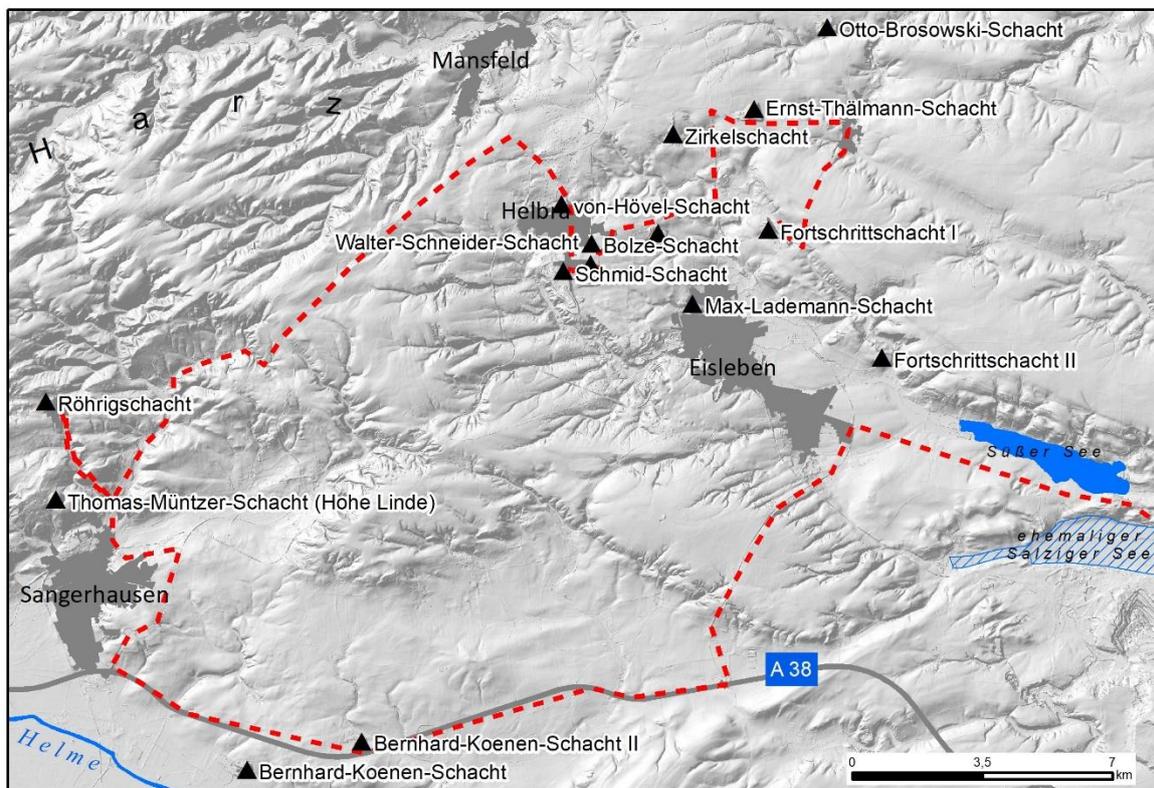


Abb. 6: Ausgewählte ehemalige Schachtanlagen des Kupferschieferbergbaus im Mansfelder und Sangerhäuser Revier. EP=Exkursionspunkte; gestrichelt: Exkursionsroute.

Das LAGB hat 2018 auf Grundlage des Digitalen Geländemodells 1 x 1 m eine Erfassung von Halden vorgenommen. Demnach sind auf sachsen-anhaltischem Territorium am nördlichen, südlichen und östlichen Harzrand und im östlichen Harzvorland bis zur Saale 12.549 Halden digital erfasst. Davon sind 11.596 Halden des Kupferschieferbergbaus (vgl. Abb. 5). Daneben gibt es detaillierte Einmessungen von Pingen und Halden ausgewählter Bergbaubereiche (SOMMER 1996). Allein in der Mansfelder Mulde sind in den Halden der letzten Generation (siehe oben) 106 Mio. t Gestein abgelagert worden, davon 43 % in den Spitzkegelhalden (SPILKER 2016).

Die **Halden des vorindustriellen Zeitalters**, häufig als Kleinhalden bezeichnet, bilden in Abb. 5 den größten Teil der Objekte „Kupferschieferhalde“ und „Kupferschieferhalde - stark überprägt“. In Abb. 7 sind sie als „kleine Halden über Schacht geringer Tiefe“ markiert.

Die Durchmesser der Pingen des frühen Kupferschiefer-Bergbaus liegen im Meterbereich, engräumig in der Verteilung und mit kleinen, auch flachen Aufhaldungen verknüpft. Archäologische Ausgrabungen belegen das enge Nebeneinander verfüllter Schächte, unterirdischer Abbaue und flacher Tagebaugruben mit kleinflächig abgelegten unterschiedlichen Abraummaterien (Bode 1996). Selten sind hier die ursprünglichen Bodenverhältnisse erhalten (Exkursionspunkt 1).

Das ausgeräumte Material wurde ringförmig um den Schacht abgelagert (Duckelbau). So entstand an den Muldenrändern ein Kranz von Kleinst- und Kleinhalden (Abb. 5). Sie bestehen aus dem stark verwitterten plattig-schiefrigen Material des Kupferschieferflözes, oft mit Abdrücken der reichhaltigen Kupferschieferflora und -fauna.

Mit Fortschreiten der Abbautechnik nach 1400 erreichten die Schächte größere Tiefen. Das Netz der Schachthalden wurde weitmaschiger, ihre Größe nahm zu. Auf besonders stark verwitterten und/oder Wald und Gebüsch bestandenen Kleinhalden wurden auch höhere Metallgehalte im Feinboden festgestellt: Pb bis 43.000 mg/kg, Zn bis 41.000 mg/kg, Cu bis 14.000 mg/kg (SCHMIDT & FRÜHAUF 1997).

Die Abbaubereiche sind heute meist bewaldet oder machen sich durch Waldinseln in Feldfluren bemerkbar. Ein Teil der Halden wurde eingeebnet und überpflügt - ein zweiseitiger Ansatz der Flächenoptimierung, weil er mit Bodenbelastung verbunden ist (OERTEL & FRÜHAUF 1999, 2000 und OERTEL 2003).

In der Zeit vom 16. bis zum 19. Jahrhundert wurden auch die ersten Stollen zur Entwässerung aufgeföhren. Über den Stollen bilden Ketten von kleineren Halden, die sich auf eine Linie projizieren lassen, den Verlauf der Stollen ab. Die dazugehörigen Schächte dienten beim Stollenbau als Lichtlöcher zur Wetterführung (vgl. Abb. 5: „Lichtlöcher“). Teilweise wurden sie dann auch zur Erzförderung genutzt (KÖNIG 2022). Auf der Exkursionsroute passieren wir südlich von Eisleben die Lichtlöcher des Froschmühlenstollens.

Die **Halden des 19. bis Anfang 20. Jahrhunderts** (Flachhalden) sind in Abb. 7 mit „große Flachhalde“ markiert. Sie sind in der Anzahl geringer, aber in der Dimension größer als die Halden der vorhergehenden Zeitabschnitte und weisen auf eine weitere Verlagerung des Abbaus in das Innere der Mulden und größere Abbautiefen von ca. knapp 500 m hin (LAGB 2008). Die Halden sind komplex aufgebaut, sowohl aus Nebengestein, als auch aus nicht bzw. nicht ausreichend vererztem Kupferschiefer (WÜRZBURG 2000). Die Materialunterschiede zeigen sich in der Färbung der Schüttungen. Das an Kalkstein reiche Haldenmaterial wird lokal für Bauzwecke gewonnen und verarbeitet. Der gesondert abgelagerte, damals nicht konditionsgerechte Kupferschiefer ist heute ein potentieller Rohstoff (WÜRZBURG 2000). Auch hier finden sich Fossilien. Auf der Exkursionsroute sehen wir diese Haldengeneration bei Anfahrt auf Exkursionspunkt 1 (Röhrigschacht) und auf dem Weg zur Exkursionspunkt 3 (Zirkelschacht).

Die **jüngsten Halden des 20. Jahrhunderts** (Sargdeckel- bzw. Flachhalden und Spitzkegelhalden) werden auf Abb. 7 als „Spitzhalde“ bezeichnet. Die Spitzkegelhalden sind schon von Weitem zu sehen. Es sind Landmarken der Bergbaulandschaft. Sie entstanden durch erhöhten Anfall von Abraummassen

aus Tiefschächten mit Tiefen bis zu 830 m (Otto-Brosowski-Schacht) (LAGB 2008) in der Mansfelder Mulde und 871 m (Bernhard-Koenen-Schacht II) (LAGB 2008) in der Sangerhäuser Mulde. Die Halden sind bis zu 153 m hoch. Beispiele auf der Exkursionsroute sind die Halden des Ernst-Thälmann-Schachtes (Exkursionspunkt 3) und des Fortschrittschachtes (Exkursionspunkt 4). Auf der Fahrt in Richtung Exkursionspunkt 1 sind von der A 38 ebenfalls gut sichtbar die Halden des Bernhard-Koenen-Schachtes sowie nördlich von Sangerhausen die Hohe Linde (Thomas-Müntzer Schacht) (vgl. Abb. 6).

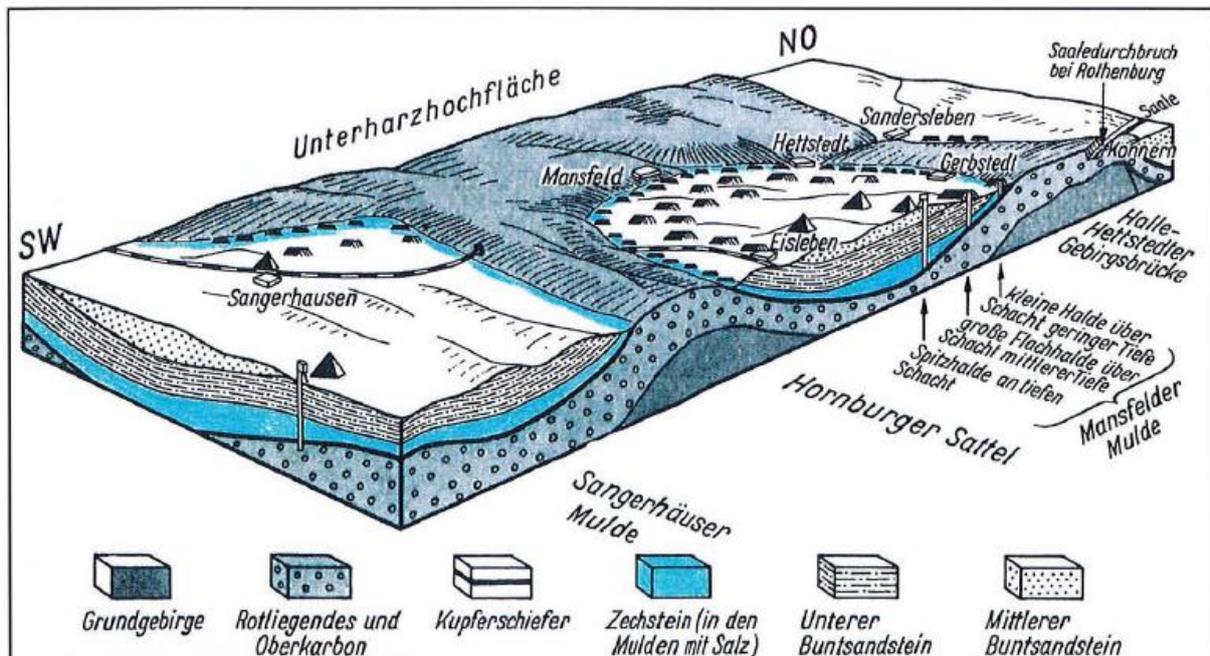


Abb. 7: Mansfelder und Sangerhäuser Mulde mit der Haldenlandschaft des Kupferschieferbergbaus: Größe und Form der Halden sind ein Maß für die Tiefe der Schächte bzw. die Tiefenlage des Kupferschiefers (aus WAGENBRETH & STEINER 1985)

### Vegetation auf den Halden

Ältere Halden sind trotz hoher Metallgehalte oft mit Sträuchern bewachsen oder bewaldet. Auf Althalden mit hohem Anteil an Kupferschiefer hat sich lokal eine Schwermetallflora angesiedelt. Zu den wichtigsten Vertretern dieser seltenen Pflanzengesellschaft gehören das Kupfer-Leimkraut, Hallers Grasnelke und die Frühlingsmiere, die im Mansfelder Land allgemein nur als das Kupferblümchen bezeichnet wird.

Die jüngeren Halden sind für die Vegetation Extremstandorte. Zwischen den groben Abraumschottern ist sehr viel mit Luft gefüllter Hohlraum, so dass eine dauerhafte Bindung von Wasser kaum möglich ist. Zudem sind die aufgehaldeten Gesteine schwer verwitternd. Relativ hohe Metall- oder Salzgehalte und steile offene Hanglagen mit geringem Wasserspeicher- und Sorptionsvermögen behindern das Pflanzenwachstum. Daher sind die jüngeren großen Halden kaum bewachsen.

### Halden der Hüttenindustrie (VOLKER 2004)

Die schwarzen Schlackenhalden entstanden durch Ausgießen der flüssigen Schlacke aus der Rohschmelze des Kupferschiefers. Die glutflüssigen Schlacken der Rohschmelzen aus den Hüttenwerken wurden auf die Tafelhalden gefahren und dort auf dem Haldensturz abgossen. Die Schlacken besitzen infolge rascher Abkühlung einen hohen Glas-Anteil, der die Verwitterung und Auswaschung von Schadstoffen verhindert. Deshalb sind diese Halden vegetationsfrei. Die Restgehalte an nutzbaren Metallen machen auch sie zu potentiellen Rohstoffquellen.

Zur Minimierung der Kosten und zur Reduzierung der Halden wurden seit 1863 aus der Schlacke Bausteine produziert, die als Mauersteine sowie im Straßen- und Wasserbau Verwendung fanden (Abb. 16).

**Schadstoffimmissionen** in die den Halden benachbarten Böden und den Untergrund können durch Sickerwässer erfolgen oder von unsachgemäß isolierten Sonderdeponien ausgehen. Im Sickerwasser ausgewählter Halden des Mansfelder Reviers wurden Cu, Pb und Zn bestimmt (SCHMIDT & FRÜHAUF 1997, SCHMIDT 1999). Diese Elemente waren im Vergleich mit Niederschlagswasser angereichert. Die Anreicherungsfaktoren (Elementgehalte im Sickerwasser zu Gehalten im Niederschlagswasser) variierten systematisch mit Haldentyp und Haldenmaterial. Die Sickerwässer aus den mengenmäßig stark untergeordneten Kleinhalden wiesen die höchsten Anreicherungsfaktoren auf (Anreicherungsfaktoren bis 30). Sickerwässer aus den Flachhalden waren deutlich niedriger angereichert (Faktor < 10), die aus den mengenmäßig dominierenden Spitzhalden waren am niedrigsten (Faktor < 5). SCHMIDT & FRÜHAUF (1997) schlossen daraus, dass, bei Berücksichtigung aller Verursacher von Schwermetallbelastung im Mansfelder Revier, die Emissionsfrachten aus den Bergehalden - trotz nachgewiesener Schwermetallgehalte - als außerordentlich gering angesehen werden können.

Der Kupferschiefer und ihn kreuzende Störungen weisen lokal geringe Urangehalte auf, die in einigen Abbaublöcken auch gewonnen wurden. Höhere Urangehalte zwischen 50 und 120 ppm mit U/Th-Verhältnissen von 5 bis 10 wurden auch in Schlacken nachgewiesen (HAACK & PLIMER 1998). In Aufhaldungen schwach vererzten Kupferschiefers wurde durch das Bundesamt für Strahlenschutz natürliche Radioaktivität gemessen (FRÜHAUF 1999, WÜRZBURG 2000).

## 2.4 Schwermetallbelastung in Böden und Sedimenten

Die Schwermetallbelastung in Böden und Sedimenten des Mansfelder Bergbaureviers ist durch zahlreiche Untersuchungen und Veröffentlichungen bekannt. Als Quellen kommen lokal das anstehende polymetallische Kupferschiefererz (geogen) sowie kupferschieferhaltige Halden in Betracht. Wichtiger und flächenmäßig größer sind die weitreichenden Emissionen der Hüttenwerke durch Rauch und Stäube sowie aufgehaldete Verhüttungsrückstände.

Bei der Untersuchung von Schwermetallbelastungen in landwirtschaftlich genutzten Böden kamen OERTEL & FRÜHAUF (1999) zu dem Ergebnis, dass erhöhte Schwermetallbelastungen im Umfeld von Kleinhalden am Westrand der Mansfelder Mulde (vgl. Kap. 4.3) nicht aus dem Ausstrich des Kupferschieferflözes resultieren, sondern auf in historischer Zeit vorgenommenen Vergrabungen von schwermetallhaltigem Schiefermaterial zurückzuführen sind (Abb. 8). Das vergrabene Material ist durch Erosion und Bodenbearbeitung exhumiert worden. Diese Standorte zeigen Vegetationsschäden, Rückstände im Erntegut und weisen daneben auch ungünstige Bodenwassereigenschaften sowie eine limitierte Durchwurzelbarkeit auf. Das Phänomen wird von den Autoren als flächenhaft vorkommende Problematik beschrieben. Die Autoren schätzen, dass zu den heute noch verbreiteten Kleinhalden noch einmal ca. 60 bis 70 % ehemalige eingeebnete Kleinhalden hinzugerechnet werden müssen.

Als weitere Quelle für Schwermetallbelastungen sind atmosphärische Einträge aus der Erzverhüttung zu nennen. Dazu gehören neben den drei Großhütten des Industriezeitalters in Hettstedt, Helbra und Eisleben auch die unzähligen Kleinst- und Kleinhütten, in denen seit 1200 Kupferschiefer in der Nähe der Förderorte verhüttet wurde (vgl. Kap. 1.5).



Abb. 8: Vergrabenes Haldenmaterial bei Hergisdorf. Quelle: OERTEL & FRÜHAUF (1999).  
Foto: OERTEL 1997.

In einem von Oertel im Einzugsgebiet der Bleihütte Hettstedt untersuchten Profil (Oertel & Frühauf, 1999, S. 124) zeigte der Ap-Horizont eine im Vergleich zum C-Horizont 13-fache Anreicherung bei Cu, eine 10-fache bei Pb und eine 3-fache bei Zn (jeweils im KW-Aufschluss).

Hingegen können Immissionen durch Abwehung von Bergbauhalden als geringfügig eingestuft werden (SCHMIDT & FRÜHAUF 1997).

BECKER et al. (2000) haben mit Hilfe vergleichender geochemischer und mineralogischer Untersuchungen nachweisen können, dass die erheblichen Mengen an Zn und Pb in den Sedimenten des Süßen Sees am östlichen Rand des Bergbaureviers in erster Linie aus schwermetallhaltigen Verhüttungsrückständen stammen. Nach Einstellung der Metallgewinnung wurden diese in offenen Becken gelagert (Theisenschlamm) und als Flugstäube in der Umgebung verbreitet (vgl. auch Exkursionspunkte 2 und 3).

SCHMIDT & FRÜHAUF (1997) führen die in Fließgewässersedimenten gemessenen hohen Schwermetallgehalte auf Abwassereinleitungen aus den Verhüttungseinrichtungen zurück. Ein weiterer, aktuell noch wirksamer Eintragspfad sind die Grubenentwässerungsstollen. Der wassergebundene Eintrag von Schwermetallen aus Halden in Fließgewässer, entweder direkt oder über die Bodenpassage, erlangt vor allem in haldennahen Vorflutern Bedeutung. Allerdings wirken die im Allgemeinen hohe Filter-, Puffer- und Sorptionskapazitäten der Böden sowie deren häufiger Kalkgehalt im Untergrund diesem Stoffpfad entgegen.

Nach eigenen Untersuchungen (KAINZ 2009, 2012, 2014) beeinflusst das Eisleben - Hettstedter Immissionsgebiet einen großen Bereich in den umgebenden unterschiedlichen Bodenlandschaften. Die Reichweite der Einträge aus der Verhüttung wird durch die Verteilung erhöhter Cu-Gehalte in der Humusaufgabe der Waldböden sowie in den humosen Oberböden deutlich (Abb. 9). Der Dispersionsbereich des Kupfers ist hier nicht an die Hauptwindrichtung gebunden. Mit Annäherung an die Hüttenzentren und in alten Immissionsbereichen sind die Einträge auch in tieferen Horizonten nachweisbar. Die Nachbarschaft zu den Hüttenzentren, die Zunahme der Gehalte in deren Richtung und das Fehlen entsprechender anderer Quellen im Untergrund der Anomalie bestätigen ihre Herkunft als Immissionen der Kupferschieferverhüttung. Einige Probenahmepunkte haben geringere Gehalte (in Abb. 9 grün oder gelb dargestellt), die durch Ab- oder Auftrag im Bereich der Oberböden erklärt werden können.

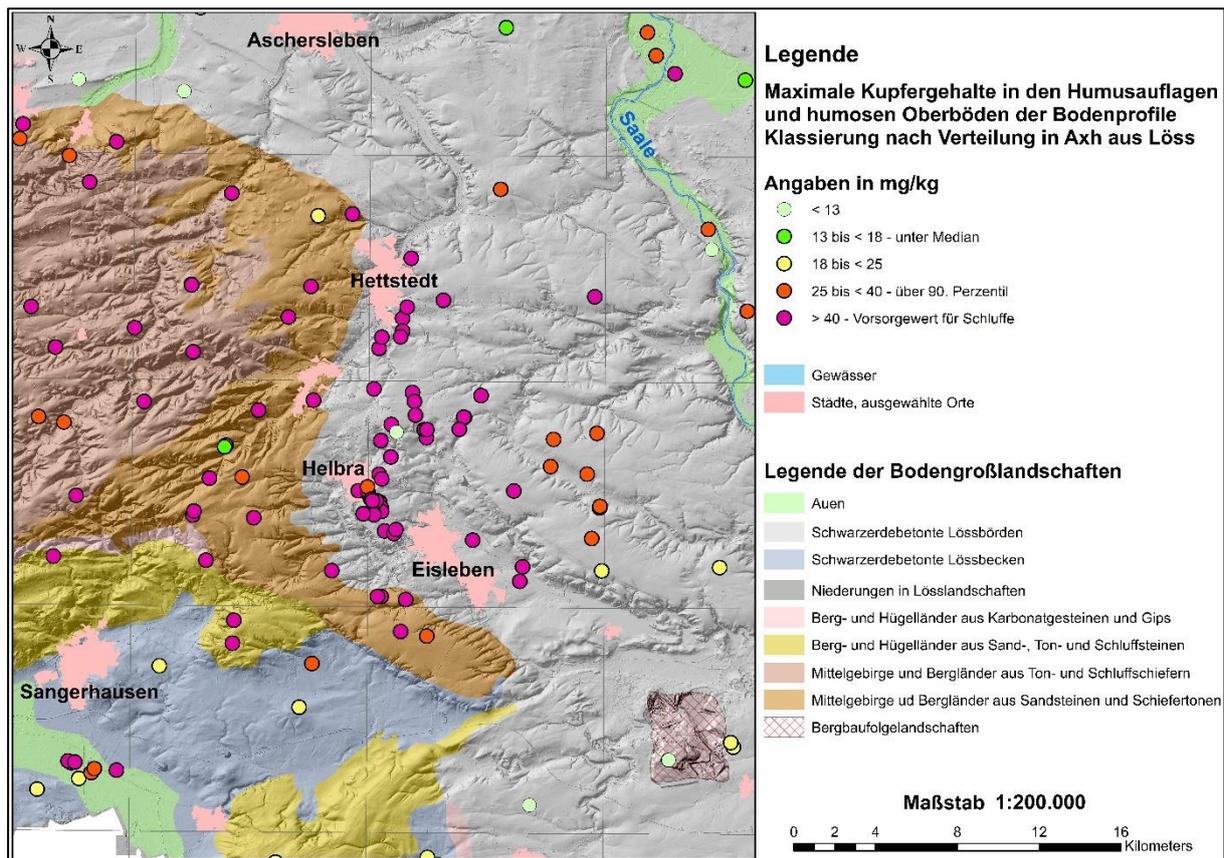


Abb. 9: Maximale Kupfergehalte in den Humusauflagen und humosen Oberböden in Bodenprofilen des östlichen Unterharzes und seiner Vorländer nach aktuellen Ergebnissen der Bodenzustandserfassung des LAGB (KAINZ 2012, 2014 und neuere Auswertungen)

Im Immissionsgebiet haben As, Cd, Cu, Mo, Pb, Se, Sn und Zn Gehalte über den 90. Perzentilen der allgemeinen Verteilung in den jeweiligen Substratgruppen. B, Ba, Be, Co, Cr, Hg, Li, Ni, Sb, Sr und V gehören nach dem räumlichen Verteilungsmuster ebenfalls zu den eingetragenen Elementen aus den Hüttenbetrieben. Ihre Gehalte sind aber geringer als die der zuvor genannten Elemente.

Die in Tabelle 3 dargestellten Anreicherungskoeffizienten sind Mediane der Substrat-Horizontgruppen. Sie wurden aus den über die Mächtigkeit gewogenen Elementgehalten der Substrat-Horizontgruppen der Einzelprofile berechnet. Dabei wurden nur Fälle mit gleichem Substrat in Ober- und Unterböden in die Auswertung einbezogen.

Tabelle 3 zeigt die Verteilung und Zusammensetzung der mittleren Elementbelastung sowie den Herkunftspfad der Elemente im Bereich des Eisleben-Hettstedter Immissionsgebietes. Gleichartiges Verhalten der Elemente in den Zeilen hat seine Ursachen in den Substraten, Böden und ihrer Nutzung, wie in aufgeforsteten Schwarzerden. Die teils extreme Anreicherung in den aufgeforsteten Schwarzerden sind im Mittel höher als in den ackerbaulich genutzten Schwarzerden. Die Ursache liegt zum Einen in der Aufforstung von Bodenbelastungsflächen (z. B. Exkursionspunkt 2), sie ist aber in älteren Aufforstungen auch nutzungsspezifisch durch die Luft filternde Wirkung der Bäume. Gleiches Verhalten in den Spalten hat seine Ursache in profilübergreifenden atmosphärischen Einträgen. Die schwachen Anreicherungen von B, Ba und Sr in Böden der Abfolge 114 – 200 (Humusbraunerden oder Pseudogley-Tschernoseme) sind Einflüsse der Düngung und Kalkung der Böden. Abreicherung ist eher bei lithophilen Elementen zu sehen und Folge der Verwitterung und Auswaschung.

In allen Profilen sind Cd, Cu, Hg, Mo, Pb, Se, Sn und Zn mäßig bis extrem angereichert. Cu und Pb fallen besonders auf (Tab. 3).

Nutzung	Substrat-Gruppe	Horizont-Überlagerungen	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Tl	U	V	Zn
Acker	Löss	110_200	125	118	96	95	653	105	91	632	626	90	132	490	86	1248	100	480	522	126	150	132	122	248
		110_233	102	108	98	94	653	89	88	1399	398	90	165	1567	84	1360	100	370	100	148		100	121	649
		114_115	109	96	100	100	217	100	97	150	189	97	103	100	97	197	122	109	131	107	116	104	100	149
Grünland	Sand-löss	114_200	146	106	126	118	510	106	105	394	400	103	151	122	99	560	126	242	307	116	141	126	107	314
		114_115	133		76	95	53	92	64	77	200	162	82	69	150	117	375	16		100		2	76	228
		114_200	256		96	165	92	117	100	100	500	260	135	170	300	300	546	23		67			126	518
Forst	Löss	114_115	144	122	98	100	108	104	98	216	132	107	82	163	99	193	238	239	220	119	141	112	115	160
		114_200	205	92	94	77	778	100	90	566	219	79	129	168	84	610	253	570	276	143	141	106	91	338
		110_200	239	94	89	50	331	87	93	480	228	80	109	171	89	938	162	217	329	96	220	134	101	136
	110_233	149	56	83	28	63	92	64	320	251	58	152	115	43	886	106	166	192	90	160	73	75	81	
	114_115	231	120	111	100	152	135	111	328	508	100	104	363	115	250	161	411	661	124	229	152	135	158	
	114_200	380	108	150	112	1319	161	121	1455	1370	100	143	648	125	2998	245	706	901	134	320	320	156	136	1302
	Pelit, MZ	110_200	326	68	98	59	120	96	76	1153	728	74	143	305	74	3205	117	8846	280	96	249	321	96	131
	Pelit, PZ	110_200	194	80	78	46	105	54	92	226	194	65	54	173	80	494	100	142	143	100	126		80	100
Erläuterung:				<=100		<=150		<=250		<=400		<=800		>800										

Schlüssel für die Horizont-Überlagerungen: 1. Angabe - humoser Oberboden: 110 = Ap, Ah; 114 = Axp, Axh; 2. Angabe - nächstunterlagernde Horizontgruppe: 115 = unterer Axh; 200 = Unterboden (Bv, Ael usw.); 233 = Bt

Tab. 3: Anreicherungskoeffizienten der Oberböden in Prozent bezogen auf die Unterböden ausgewählter Substrat-Horizont-Gruppen, ermittelt anhand von Bodenprofilen des Eisleben - Hettstedter Immissionsgebietes.

Schlüssel für die Horizont-Überlagerungen:  
 Erste Angabe - humoser Oberboden: 110 = Ap, Ah; 114 = Axp, Axh;  
 Zweite Angabe - nächstunterlagernde Horizontgruppe: 115 = unterer Axh; 200 = Unterboden (Bv, Ael usw.); 233 = Bt  
 MZ: Mesozoikum  
 PZ: Paläozoikum

Die Verteilung der hohen Gehalte der einzelnen Elemente variiert. Sie nehmen ausgehend von den Hüttenzentren ab und sind nach ihrer Reichweite in der Reihenfolge

? Cd (bei Hettstedt) - Cu, Co, Sr - As, Cd, Hg, Mo, Pb, Se, Sn, Zn - Tl - Sb

zontiert. Der Immissionen sind in Abhängigkeit von der Art der Hütten unterschiedlich zusammengesetzt. Unterschiede zeigen sich in der räumlichen Verteilung der Elemente Cd, Sn und Zn westlich von Hettstedt/Großörner sowie Co und Mo westlich von Helbra. In älteren Anomalien reichen die Anreicherungen auch in tieferliegende Horizonte.

## 2.5 Auswirkungen des Bergbaus auf die Waldvegetation im Harz

Der Harz war seit dem frühen Mittelalter ein Zentrum des Erzbergbaus und der Erzverhüttung. Beide Wirtschaftszweige benötigten große Mengen Holz, sowohl als Brennstoff in Form von Holzkohle als auch als Grubenholz für den Ausbau der untertägigen Bergwerksauffahrungen.

Der Kupferschieferabbau hat in der ersten Bergbauperiode bis zum Dreißigjährigen Krieg einen schnellen Aufschwung genommen. Die Anfuhr von Holzkohle soll allein aus den Revieren Morungen, Rammelburg und Wippra mehrere 100 Fuder täglich betragen haben (SCHLEICHER 2002). Das Fuder ist ein Raummaß für feste und flüssige Stoffe, abgeleitet von der Fuhre (Ladung), die ein zweispänniger Wagen laden konnte.

Um 1530 betrug die Gewinnung von Rohkupfer in der Grafschaft Mansfeld 1.500 t/a. Dafür wurden 200.000 bis 380.000 Raummeter Köhlerholz benötigt. Das entspricht nach heutigen Maßstäben dem drei- bis sechsfachen Jahreseinschlag auf 10.000 ha Waldfläche. (SCHLEICHER 2002).

Zur Verkohlung wurde bevorzugt Buchenholz eingesetzt, wohingegen Fichtenholz wegen seiner Warnfähigkeit als Gruben- sowie auch Bauholz Verwendung fand. Fichtenholz gehört zu den langfaserigen Hölzern und verformt sich bei Lastaufnahme zunächst unter lautem Knacken, ehe es zu Bruch geht.

Die intensive Nutzung der Harzwälder zeigt sich auch in der hohen Zahl der Meilerplätze. Bisher wurden im Ostharz über 16.000 ehemalige Meilerplätze identifiziert (SWIEDER 2019). Die Waldnutzung zur Gewinnung von Holzkohle und Grubenholz war zu Beginn des 17. Jahrhunderts so gravierend, dass neue Schulen der Forstwirtschaft gegründet wurden, um eine planmäßige standortgerechte Wiederaufforstung und Forstwirtschaft zu begründen. So wurde 1765 die erste Forstschule Deutschlands in Ilsenburg gegründet. Erst mit der Substitution der Holzkohle durch Steinkohlenkoks für den Verhüttungsprozess ab Mitte des 19. Jh. reduzierte sich der Nutzungsdruck auf die Harzwälder.

Bisher gibt es nur wenige Untersuchungen zur Auswirkung des Meilerbetriebs auf die Böden im Harz. Nach Aussage von Förstern wachsen die Bäume auf diesen Standorten besser. Es ist aber auch mehr Stickstoff im Boden, was sich auf entsprechend belichteten Standorten durch das Vorkommen von Brennesseln zeigt. Eigene Beobachtungen zeigen unter dem Meiler eine violettstichige Bleichung und darunter dunkle Bänder aus organischer Substanz. Ähnliches zeigt auch das Bodenprofil 3 in SCHNEIDER et al. 2019. In den mit Holzkohle angereicherten Schichten wurde eine stärkere Durchwurzelung, aber auch eine sehr hohe Heterogenität der Wasserinfiltration und -retention festgestellt (SCHNEIDER et al. 2019). Möglicherweise wirken diese Bodenveränderungen baumartenspezifisch.

Mit Blick auf den anthropogen induzierten Klimawandel ist die Frage interessant, inwieweit die teils jahrhundertlang währenden Eingriffe in die Waldvegetation durch Waldweide, Streunutzung, Holzentnahme, Kahlschlagwirtschaft, Köhlerei, Herbizid- und Maschineneinsatz (Bodenverdichtung) und Verschiebung des Baumartenspektrums den Humusgehalt der Böden negativ beeinflusst haben und dieser durch eine stärker ökologisch orientierte, standortangepasste Forstpraxis erhöht werden könnte.

## 2.6 Aufforstung von Bodenbelastungsflächen

Mit den größeren Hüttenbetrieben und den intensiveren Emissionen an Rauchgas und Hüttenstaub seit den letzten 170 Jahren bestand und besteht immer noch das Problem schädlicher Bodenveränderungen im Umfeld der Hütten bzw. ihrem Emissionsgebiet. Deshalb wurde in den 60er Jahren begonnen, Baumarten zu suchen und für die Aufforstung zu nutzen, die gegen die Rauch- und Schwermetallbelastung entsprechend tolerant waren. Seit den 1970er Jahren wurden bis in die 1990er Jahre belastete Flächen bei Helbra und Hettstedt/Großörner aus der landwirtschaftlichen Nutzung genommen. Die Aufforstung erfolgte auf belasteten Flächen flächenhaft und als Staubschutzstreifen (Abb. 10) (FORNAÇON 2004).

Baumschäden traten als Blattnekrosen, Wachstumsstörungen bis zum Absterben der Bäume nach gewissem Alter auf. Von Ackerflächen berichteten Landwirte, dass die Regenwürmer verschwanden.



Die Untersuchungen von FORNAÇON (2004) bestätigten die Bodenbelastung auch nach der Aufforstung durch Emissionen aus den Hüttenbetrieben. Nach diesen Untersuchungen führte die Aufforstung zu einer Absenkung der pH-Werte und Mobilisierung der untersuchten Schwermetalle Pb, Cu, Zn und Cd. Es konnte keine messbare Verlagerung der untersuchten Elemente in den Profilen festgestellt werden: „Aufgrund der eingeschränkten Vergleichbarkeit der Standorte war ein Vergleich hinsichtlich des Einflusses des Alters der Bestände nicht möglich.“ Eine Gefahr der Verlagerung in beachtbare Umweltmedien wurde für den Untersuchungszeitraum ausgeschlossen.

Abb. 10: Staubschutzstreifen aus Schwarzpappel-Anpflanzung bei Großörner. Die erste Baumreihe in Richtung der Emissionen ist abgestorben. Foto: W. Kainz 1993

## 3. Die Exkursionspunkte 1 bis 4

### 3.1. Exkursionspunkt 1 – Altbergbauggebiet Wettelrode

Koordinaten: Parkplatz [51.516845, 11.281715](#); Bergbaulehrpfad: [51.520239, 11.278025](#)

Wolfgang Kainz, Konrad Schuberth, Henrik Helbig

#### 3.1.1. Geologie

Der Exkursionspunkt liegt am Nordrand der Sangerhäuser Mulde. Sie besitzt einen Stockwerksaufbau aus einem permokarbonen Fundament (Subsalinar) und dem permotriassischen Tafeldeckgebirge aus Sedimenten des Zechsteins (Salinar) und des Buntsandsteins (Suprasalinar). Dieser Festgesteinskomplex erreicht im Muldentiefsten knapp 900 m Mächtigkeit. Oberflächennah wird er weitflächig von einem Lockergesteinsgebirge (Hüllstockwerk) aus tertiären und quartären Bildungen überlagert. Bruchtektonik führte zu zahlreichen Verwerfungen, die meist NW-SE (herzynisch) orientiert sind (Abb. 12).

Am Nordrand der Sangerhäuser Mulde fallen die Schichten mit 3–5° nach Süden ein. Im Umfeld des Exkursionsstandortes streichen die Sedimente des Zechsteins auf etwa 250 m Breite aus (Abb. 13).

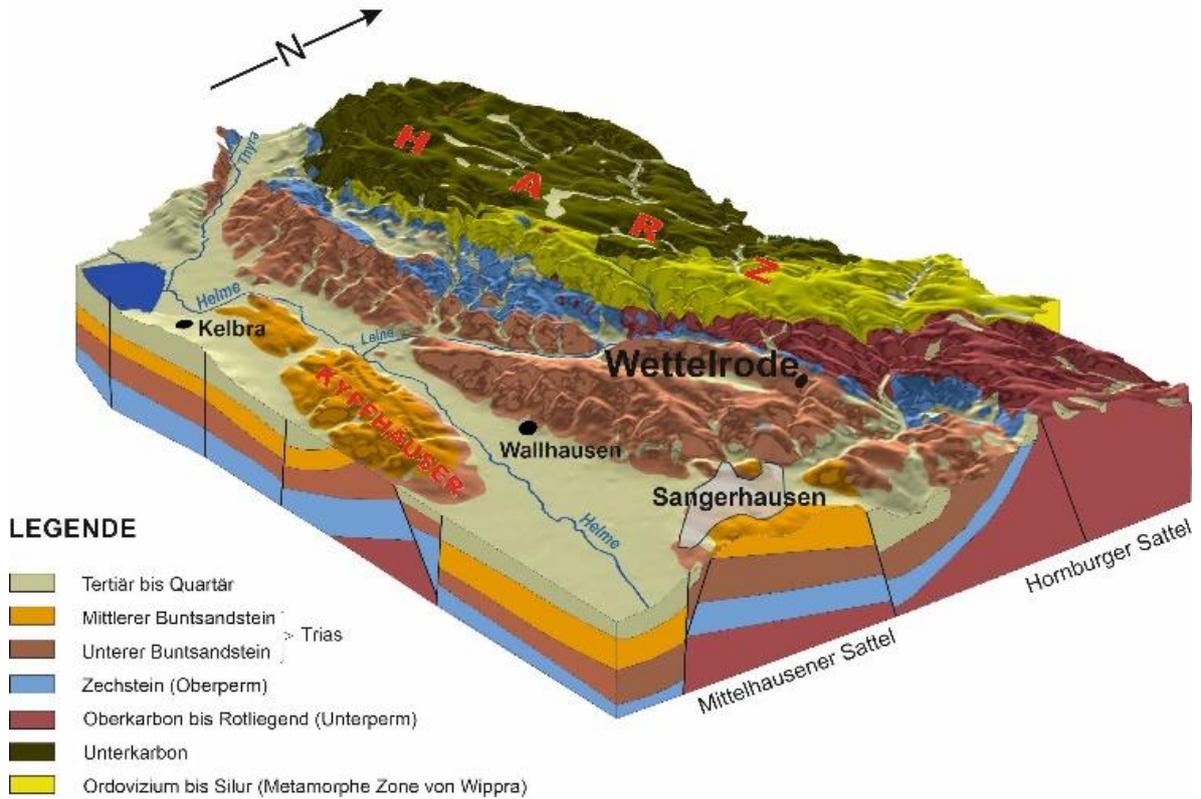


Abb. 12: Geologisches Blockbild von Wettelrode und Umgebung  
(Grafik: Rapsilber & Thomae, verändert).

Nördlich grenzen Bildungen des Oberkarbons an, die zum permokarbonen Molassegebiet am Ost- rand des Harzes gehören. Nach Süden hin wird der Zechstein-Streifen von einem breiten Gebiet mit Unterem Buntsandstein flankiert, das von Wettelrode über Sangerhausen bis zur Helme-Aue reicht.

Das Zechstein-Normalprofil der Sangerhäuser Mulde ist durch Subrosion reduziert. Sie konnte regi- onal unterschiedlich wirksam werden, abhängig vor allem von der Tiefenlage der auslaugungsanfälli- gen Gesteine und die Mächtigkeit der sie schützenden Deckschichten.

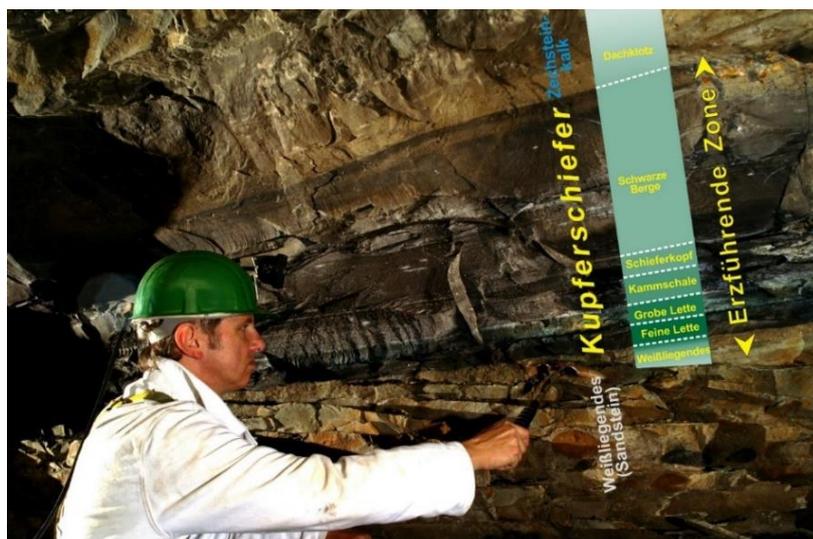


Abb. 11: Gliederung des Kupferschieferflözes im Freieslebensacht bei Leimbach (Foto und Grafik: Klaus Stedingk).

Während im Muldenzentrum Werra- und Staßfurt-Steinsalz weitgehend erhalten sind, verblieben in Gebieten mit Grundwassereinfluss nur Auslaugungsrückstände. An den Muldenrändern mit reduzierter Bedeckung sind sogar die Sulfatgesteine von der Subrosion betroffen. Es kam zur Vergipsung der Anhydritgesteine und zur Mächtigkeitsreduzierung durch Gipsauflösung.

Das Zechstein-Profil beginnt mit dem Kupferschiefer (Abb. 11), der vor 255 Mio. Jahren als erste durchgehende Meeresablagerung über dem Abtragungsschutt des Variszischen Gebirges entstand. Er bildet die Basis der Werra-Formation. Lithologisch handelt es sich um einen 20 bis 40 cm mächtigen, feingeschichteten, kohlig-bituminösen Tonmergel- bis Mergelstein. Der ursprünglich abgelagerte Faulschlamm enthielt nur etwas Pyrit und Spuren von Buntmetallsulfiden. Die Erzmineralisation erfolgte erst später in mehreren Phasen: vor ca. 225 Mio. Jahren im Keuper, vor 149 Mio. Jahren an der Wende Jura/Kreide und vor 53 Mio. Jahren im Alttertiär. Neben Kupfer enthält das Flöz Blei, Zink, Silber und zahlreiche weitere Metalle.

Im Hangenden lagert der ca. 6 m mächtige Zechsteinkalk, ein dünnplattiger bis bankiger, fester bläulichgrauer Kalkstein. Darauf folgt Werra-Anhydrit, der durch Verwitterung stark vergipst ist. In Oberflächennähe sind die Gipse meist aufgelöst. Es verblieben tonige und dolomitische Auslaugungsrückstände (Rauchwacken, Aschen).

Mit dem bis zu 7 m mächtige Stinkschiefer beginnt der zweite Zechstein-Zyklus (Staßfurt-Formation). Dabei handelt es sich um einen bituminösen, dünnplattigen Mergelschiefer. Darüber lagert der Sangerhäuser Anhydrit, eine postsaxonische Subrosionsbildung in Form von mächtigen Auslaugungsresiduen. Er macht sich an der Erdoberfläche durch zahlreiche Karsterscheinungen, wie Dolinen und Erdfälle, bemerkbar. Im Untergrund sind zahlreiche Schlotten und Höhlen vorhanden.

Rezente Subrosion spielt sich vor allem im dritten Zyklus (Leine-Formation), im Hauptanhydrit ab. Oberflächlich spiegelt sie sich in dem harzrandparallelen Auslaugungstal zwischen Wettelrode und Morungen wider.

Das Zechsteinprofil schließt mit geringmächtigen, stark reduzierten Bildungen der Aller- und Ohre-Formation ab, deren Residuate zum Unteren Buntsandstein überleiten. Der Buntsandstein-Ausstrich macht sich im Relief durch einen harzrandparallelen Höhenzug bemerkbar, der insbesondere durch die morphologisch widerständigen Kalksteine der Rogenstein-Bereiche geprägt wird.

### 3.1.2. Montangeschichte

Der Bergbau in der Sangerhäuser Mulde reicht mindestens bis in das 14. Jahrhundert zurück. Die erste urkundliche Überlieferung stammt von 1372, als Sangerhausen und seine bergmännischen Aktivitäten durch die Thüringer Landgrafen gekauft wurden.

Der Beginn des Abbaus im Ausstrichbereich des Kupferschieferflözes dürfte viel weiter zurückreichen. Der Bergbau erfolgte diskontinuierlich. Phasen des Aufschwungs wurden durch solche des Niedergangs abgelöst. So kam der Kupferschieferbergbau 1636, im Dreißigjährigen Krieg, zum Erliegen und wurde erst 1675 wiederbelebt. Auch später gab es immer wieder mehrjährige Unterbrechungen der Förderung.

Zwischen 1200 und 1990 wurden in der Sangerhäuser Mulde ca. 28 Mio. t Erz gefördert und daraus 619.200 t Kupfer und 3.102 t Silber geschmolzen.

Sachzeugen des mittelalterlichen Bergbaus in Form von Halden sind zumeist nur noch in Waldgebieten vorhanden. Im Bereich von Acker- und Grünland wurden sie oft abgeflacht oder komplett abgetragen.

### *Schaubergwerk und Bergbaulehrpfad*

Das Bergbaumuseum auf dem Röhrig-Schacht Wettelrode (Geotop 4433-01) ist Überbleibsel des Kupferschieferbergbaus im 19. und 20. Jahrhundert.

Die Teufarbeiten am Röhrigschacht zur Erschließung eines neuen Tiefbaufeldes begannen 1871. Die Endteufe dieses ersten Schachtes mit rundem Querschnitt wurde 1880 mit 295,5 m erreicht. Bis 1882 trieb man einen 579 m langen Querschlag vor und erschloss das Kupferschieferflöz. Doch schon 1885 musste der Sangerhäuser Bergbau wegen niedriger Kupferpreise vorläufig eingestellt werden.

Erst 1923 wältigte die Mansfeld AG den Röhrigschacht wieder auf. Es erfolgten Untersuchungsarbeiten zur Wiederaufnahme des Bergbaus. Nach einer kurzen Abbauphase erloschen die Aktivitäten im Rahmen der Weltwirtschaftskrise 1930 erneut. Bestrebungen der Nationalsozialisten zu weitgehender rohstoffwirtschaftlicher Autarkie führten ab 1936 zur Lagerstättenuche im Sangerhäuser Raum. 1942 wurde der Röhrigschacht gesümpft. 1944/45 teufte man weiter südlich den späteren Thomas-Müntzer-Schacht ab, zunächst bis 52 m. Ab 1947 wurden die Aktivitäten fortgesetzt und eine Teufe von 686 m erreicht. 1951 erfolgte der Durchschlag zum Röhrigschacht und die Erzförderung begann. Bereits ein Jahr später begannen die Teufarbeiten von zwei weiteren, südlich gelegenen Großschachtanlagen, bei Niederröblingen (Bernhard-Koenen-Schacht I, 692,2 m) und Nienstedt (Bernhard-Koenen-Schacht II, 871,0 m). 1961 wurden die Grubenfelder Sangerhausen und Niederröblingen miteinander verbunden. Der Bergbau wurde am 30.09.1990 eingestellt. Bis 1996 erfolgte die Flutung unterirdischer Grubenräume.

Das 1987 eröffnete Museum und das 1991 gegründete Schaubergwerk (heute Erlebniszentrum Bergbau Röhrigschacht Wettelrode) werden von der Rosenstadt GmbH Sangerhausen betrieben. Es handelt sich um den letzten Schacht des ehemaligen Sangerhäuser Bergbaus. Sein Fördergerüst aus dem Jahre 1888 ist eines der ältesten noch betriebenen in Europa. Für den untertägigen Bereich und die Förderanlagen ist die Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) verantwortlich. Ihr obliegt auch die Kontrolle der Wasserhaltung. Die Standardführungen erfolgen in einer Teufe von 283 m, z. T. per Grubenbahn. Mehrstündige Spezialführungen erschließen mittelalterliche Abbaustellen und spektakuläre Schloten.

Der 1991 bis 1993 angelegte Bergbaulehrpfad befindet sich nordwestlich von Wettelrode im Bereich des Kupferschieferausstrichs und ist 4 km lang. Er thematisiert auf neun, z. T. rekonstruierten Stationen den Bergbau vom 14. bis ins 18./19. Jahrhundert. Einbezogen sind Schurfgräben, Schächte, wasserwirtschaftliche Anlagen (Wasserstollen, Kunstgräben und Kunstteich) und geologische Aufschlüsse (GRUNOW 1996).

### 3.1.3. Boden- und Landschaftsveränderungen

Wolfgang Kainz

In den Altbergbaubereichen am Ausgehenden des Kupferschiefers sind Boden und Relief stark anthropogen überprägt. Abgesehen von den gut sichtbaren Kleinhalden, die oftmals die Lage des ehemaligen Schachtes durch eine Vertiefung in der Mittel der Halde erkennen lassen (Abb. 13), sind auch die Böden zwischen den Halden weitflächig von Abgrabungen gestört und/oder Abraummateriale mit Bodenmaterial bedeckt.

Die **Bodenprofile am Exkursionspunkt 1 (Profil KA 036, KA 037a und KA 037b, Profildaten im Anhang S. 50-56)** liegen in der Gipskarstlandschaft des südlichen Harzvorlandes am Ausstrich des Kupferschiefers. Das hier vorgestellte Bodenprofil KA 036 weicht von den in der Literatur beschriebenen (VOGEL 1976, OERTEL & FRÜHAUF 1999, 2000) insofern ab, als dass der tonige Zersatz des Kupferschiefers Teil des Bodenaufbaus ist.



Diese Aussage wird durch den Aufbau des untersuchten Bodenprofils und die außerordentliche Varianz der Böden in der Fläche bestätigt (Profildaten im Anhang S. 45+46).

Das Bodenprofil liegt im mittleren Bereich eines verflachten südexponierten Hanges. Der Standort ist typisch für Schichtausstriche. Nach der Neigung ist eher mit abgeschwemmtem Bodenmaterial auf dem hangaufwärts gewandten Teil der Verflachung zu rechnen.

Die Bodenform ist ein Kolluvisol aus Abschlämmflöss mit Sandstein über Löss über tiefer Ton-Fließerde aus Kupferschiefer. Im Einzelnen besteht das Profil aus folgenden Boden-Zyklen:

1. einer dünnen Auflage von Haldenmaterial des Kupferschieferabbaus,
2. Abschlämmflöss oder Bodenauftrag,
3. fossile Fahlerde aus Löss,
4. Ton-Fließerden aus zersetztem Kupferschiefer und
5. aufgelockertem und anstehendem Sandstein des Weißliegenden

Das kalibrierte  $^{14}\text{C}$ -Alter der Huminsäure aus dem humosen Oberboden der Fahlerde (Horizont 5: fAp<sup>o</sup>fAh) beträgt 2320-2145 BC (GGA-Labor Hannover). Es kennzeichnet den Abschluss der Bodenbildung im späten Neolithikum. Der relativ homogene und mächtige fAh lässt Waldfreiheit und Ackernutzung wahrscheinlich erscheinen. Das darüber lagernde rötliche und carbonatfreie Substrat (HorNr 4: M) resultiert aus permokarbon-beeinflusstem Löss. Die Frage, ob bewusster Bodenauftrag oder abgeschwemmtes Material aus dem "Hinterland", ist nicht eindeutig zu beantworten. Die Gesamtbodenart, die Anordnung der Sandstein-Gruse und der Humusgehalt sprechen eher für abgeschwemmtes Bodenmaterial. Diese Schicht ist ebenfalls ein Hinweis auf waldfreie Flächen und Ackernutzung in der Umgebung. Das Nebeneinander von Ackernutzung und Haldenaufschüttung, Bodenauftrag und/oder Abspülung haben zu Verzahnungen mit Haldenmaterial geführt. Eine genauere Datierung der hier gefundenen frühesten Bergbauspuren als postneolithisch ist für den Standort nicht möglich. Nach Archiv-Unterlagen kann der Kupferschieferabbau am Harzrand vor 1.000 bis 800 Jahren begonnen haben (BODE 1996; HAAKE, FLACH, BODE 1994).

Das dem fossilen humosen Oberboden nach unten folgende Bodenprofil ist eine Fahlerde aus Löss der Haupt- und Mittellagen. Der Auswaschungshorizont ist sand- und schluffreicher sowie um 25 M% tonärmer als der Anreicherungshorizont. An seiner Untergrenze sind Keilstrukturen/Eiskeil-Pseudomorphosen ausgebildet. Der Tonanreicherungshorizont weist an seiner Untergrenze kryoturbate Taschen und Fahnen sowie ebenfalls Eiskeil-Pseudomorphosen auf.

Die Abweichungen des vorliegenden Bodens von der hier zu erwartenden normal ausgeprägten Braunerde-Fahlerde, der geringmächtige Ael-Horizont im Gegensatz zum mächtigen und kräftig ausgebildeten Bt-Horizont und die Datierung des fossilen Humushorizontes (HorNr 5: fAp<sup>o</sup>fAh) auf 2320-2145 Jahre BC weisen auf Bodenerosion in spätglazialer bis mittelholozäner Zeit, die Zeit vor der Bildung des fossilen Ah-Horizontes, hin.

Im Hangschutt sind zwei deutlich ausgeprägte Fahnen aus zersetztem Kupferschiefer über unterlagerndem Sandstein-Kupferschiefer-Schutt ausgebildet. Im beschriebenen Profil erscheinen die Fahnen anthropogen unverändert.

Der Kupferschiefer ist aufgrund seines Bitumen-, Kalk- und Tongehaltes eine Barriere für alle Elemente. Dadurch weist er vielfältige Elementanreicherungen auf (JUNG, KNITZSCHKE, GERLACH 1974, JUNG, KNITZSCHKE 1974). Der Kupferschiefer ist im beschriebenen Profil zu einer schwarzen kalkfreien Zersatzton-Fließerde umgeformt, die offensichtlich nicht Gegenstand des unmittelbar daneben liegenden Bergbaus war. Auffällig sind die hohen Gehalte der in den Analysedaten dargestellten Elemente. Trotz der sehr schwach sauren Bodenverhältnisse und guter Migrationsfähigkeit von Cu, Zn und Cd sind deren hohe Gehalte erhalten geblieben. Die Oberböden sind im Bereich der Zechsteinbasis, wie OERTEL & FRÜHAUF (1999, 2000) und OERTEL (2003) aus dem Mansfelder Raum mitteilten, auch hier durch die vielen kleinen Bergbauhalden stark belastet.

Das anstelle des zuvor beschriebenen Bodenprofils (KA 036) vorgestellte **Bodenprofil am Exkursionspunkt 1 (KA 037b, Profildaten im Anhang S. 54-55)** entspricht in den regionalen Standortangaben, Landschaft, Klima, Bestockung und Bodenvegetation denen des Profils KA 036. Die Verlegung wurde nötig, weil die eingemessenen Koordinaten verloren gegangen waren und der Suchaufwand im extrem kleinflächig wechselnden Bodenmosaik unverhältnismäßig war.

Das Profil liegt auf dem Ausstrichsbereich des Werra-Karbonates im Sangerhäuser Bergbaurevier (siehe auch Abb. 13). Die Geländeoberfläche ist durch dicht aneinander liegende flache Halden und Pingen des mittelalterlichen Kupferschiefer-Bergbaus (Duckelbergbau) gezeichnet. Das Profil schneidet eine dieser flachen Halden des Duckelbergbaus.

Das Schichtprofil besteht von oben nach unten aus:

Schicht 0	Humusauflage
Schicht 1	Haldenmaterial des Duckelbergbaus aus Kupferschiefer und Zechsteinkalk
Schicht 2	permokarbonbürtige Ton-Auffülle mit dolomitischem und limonitisiertem Sandstein des Weißliegenden („Sanderz“)
Schicht 3	umgelagerte permokarbonbürtige Ton-Fließerde, wahrscheinlich mit hydromorpher Vorprägung
Schicht 4	fossile Lehm-Auffülle aus und mit Kupferschiefer
Schicht 5	umgelagertes humoses Solum des primären Oberbodens mit olivfarbenen Schluffsteingrusen aus der Eisleben-Formation des Oberen Rotliegenden.
Schicht 6	Residualschuttschluffmergel-Fließerde aus und mit Kalkstein des Zechsteins der Basislage

In 18,5 bis 21,5 dm Tiefe wurde beim Bohren wasserführender lockerer Kupferschieferersatz mit Mergelstein angetroffen, der als Hohlraumfüllung interpretiert wurde.

Das Alter der Schicht 1 wird auf das 12. bis 13. Jahrhundert, der Zeit des Duckelbergbaus, geschätzt. Schicht 2 wurde auch als rötlicher Tonschluff in allen beobachteten Profilen gefunden und könnte Ergebnis einer frühen Rekultivierung sein (siehe Diskussion Profil KA 036 oben). Die nach unten folgenden Schichten 3 bis 5 sind holozän und durch den Menschen umgelagert. Schicht 3 ist absetzig und in der Mächtigkeit schwankend. Die Schicht 4 besteht aus Kupferschiefer-Material. Ihr relatives Alter liegt zwischen dem der Schicht 3 und dem oberen Teil von Schicht 5. Schicht 4 belegt einen Kupferschieferabbau vor dem Duckelbergbau, der aus dem 12. bis 13. Jahrhundert stammen könnte (siehe hierzu auch die Diskussion in Kapitel 1.5). Eine Zeitlücke zwischen den Schichten 1 und 4 wird durch die fossilen Bodenbildungen belegt.

Die Bodenbildung ist entsprechend den Auftragszyklen mehrphasig:

1. Basenreicher Regosol in Schicht 1.
2. Pseudogley-Parabraunerde in den Schichten 2 und 3. Sie sind schwach lessiviert und Schicht 2 ist kaum stauwasserbeeinflusst. Der Stauwassereinfluss ist an das Vorkommen der Schicht 3 gebunden und entsprechend in der Fläche nur stellenweise wirksam.
3. Humusparabraunerde in Schicht 5. Die Auswaschung von Ton-Humus-Komplexen und die Bildung von Ton-Humus-Tapeten resultieren aus Prozessen, die nach Feldbeobachtungen im humosen Oberboden stattfinden. Sie belegen die Lage der Schicht an der ehemaligen Landoberfläche.

Der Waldstandort ist nach der Nährkraft kräftig bis stellenweise reich und carbonathaltig. Der Waldaufbau ist mehrschichtig mit hohem Deckungsgrad und artenreicher Krautvegetation. Der Baumbestand zeigt trotz hoher Spurenelementgehalte im Boden keine Wuchsdepressionen oder Blattnekrosen. Weiserpflanzen für Schwermetalle wurden nicht gefunden, kleinflächig (<5%) aber Blattnekrosen in der Krautvegetation. Der Widerspruch zwischen hohen Spurenelementgehalten im Boden und

gesundem Waldbild lässt sich möglicherweise durch die schwach sauren Verhältnisse im Hauptwurzelraum (bis 6,5 dm Tiefe) erklären.

**Das Vergleichsprofil am Exkursionspunkt 1 (KA 037a, Profildaten im Anhang S. 56)** entspricht in den regionalen Standortangaben, Landschaft, Klima, Bestockung und Bodenvegetation ebenfalls denen des Profils KA 036. Geologisch gesehen liegt es knapp außerhalb der Kupferschiefer-Verbreitung, jedoch im Randbereich einer flachen Halde des Duckelbergbaus.

Das Schichtprofil besteht von Oben nach Unten aus:

Schicht 0	Humusauflage
Schicht 1	Haldenmaterial des Duckelbergbaus aus Kupferschiefer und Zechsteinkalk
Schicht 2	Schuttsandlöss mit dolomitischem und limonisiertem Sandstein des Weißliegenden („Sanderz“)
Schicht 3	Kiestonlehm-Fließerde aus Konglomerat und Dolomit, im Grobboden Gangquarz; Material aus dem ‚Porphyrkonglomerat‘ der Eisleben-Formation des Oberen Rotliegenden
Schicht 4	Tonlehm-Fließerde aus Kupferschieferzersatz mit Dolomit; auskeilend
Schicht 5	Auflockerungs- und Zersatzzone: Zersatzton aus Konglomerat, im Grobboden tonig zersetzte gut gerundete Klaster aus dem ‚Porphyrkonglomerat‘ der Eisleben-Formation des Oberen Rotliegenden

Bemerkung: Schicht 2 wird hier als Substrat der Hauptlage angesprochen, weil sich keine Holzkohle bzw. Artefakte oder andere Hinweise auf den Kupferschieferbergbau fanden. Trotzdem ist ihre Entstehung als Bodenauftrag nicht ganz ausgeschlossen.

Die Bodenbildung ist entsprechend dem Schichtprofil mehrphasig und besteht aus:

1. flacher Pararendzina in Schicht 1 und
2. bedeckter Braunerde.

Zwei Meter nördlich des Schurfes wurde in der Peilstange bis 2m Tiefe kein Kupferschiefer angetroffen, ebenso bis 1m Tiefe unter der Schurfsohle. Im hinteren Teil des Schurfes wurde eine kleine Grube aufgeschlossen, die bis zur Schurfsohle reichte, mit lehmigem bis tonigem Zersatzmaterial aus Kupferschiefer und plattigem Kalkstein des Zechsteins verfüllt war (siehe Spurenelementanalysen) und einen noch nicht datierten Knochen enthielt. Möglicherweise handelt es sich bei dieser Grube um einen Suchscharf aus der Zeit des Duckelbergbaus.

Schicht 3 ist insbesondere im unteren Teil deutlich rot gefärbt. Die rote Farbe ist häufig durch geringe Gehalte von Hämatit verursacht und kann ein Hinweis auf eine Bruchstörung (ein sogenannter Rücken) im Herkunftsgebiet der Fließerde sein.

Das Vorkommen hochmetallhaltiger Reste in einem intensiv und händisch geklaubtem Bergbaubereich wirft Fragen auf. Eine Antwort wäre: Jede Zeitperiode hatte ihre Merkmale, um verhüttungsfähiges Erz vom Abraum zu trennen, z. B. das Vorkommen grüner und blauer Ausblühungen oder das Vorkommen von sichtbaren Sulfiden und die Suche nach festem Gestein. So lässt sich der aufgehaldete hochhaltige Kupferschieferzersatz und -abraum erklären.

## 3.2. Exkursionspunkt 2 – Schwermetallbelastungsflächen bei Helbra

Koordinaten Parkmöglichkeit [51.546022](#), [11.499551](#)

Wolfgang Kainz, Peter Balaske, Konrad Schuberth, Henrik Helbig

### 3.2.1. Geologie

Der Exkursionsstandort liegt am Südwestrand der Mansfelder Mulde auf einer Hochfläche aus Unterem Buntsandstein. Deren Westrand bildet eine Steilstufe zum Auslaugungstal der Bösen Sieben, das sich an den Ausstrich von verkarstungsfähigen Gesteinen des Zechsteins (Gips, Anhydrit) anlehnt.

Westlich dieses Auslaugungstals steigt das Gelände sanft an. Die Bildungen des Zechsteins sind hier weitflächig durch eine Lössdecke verhüllt. Das Relief wird durch schmale, west-ost-verlaufende Täler gegliedert. Etwa 1,7 km westlich der Bösen Sieben streicht der Kupferschiefer aus, im Grenzgebiet zwischen Mansfelder Mulde und Hornburger Sattel. An diesem Saum setzte der mittelalterliche Erzbergbau an. Das natürliche Relief ist hier durch Hunderte von Pingen und Kleinhalden überprägt. Entsprechend der zum Zentrum der Mansfelder Mulde zunehmenden Abbauteufe nehmen die Haldengrößen und -abstände von West nach Ost zu.

### 3.2.2. Ehemaliger Bergbau- und Hüttenstandort Helbra

Die Stadt Helbra gehört zum einstigen Montanindustriegürtel am östlichen Rand des Harzes zwischen Hettstedt im Norden und Eisleben im Süden. Hier waren seit der (Wieder-) Entdeckung des Kupferschieferflözes durch die Bergknappen Nappian und Neucke im Jahr 1199 zahlreiche Förderschächte, Schmelzhütten und Metallverarbeitungsbetriebe angesiedelt.

Heute noch sichtbare Zeugen dieser Geschichte sehen wir, aus Richtung Harz kommend, kurz vor Benndorf auf den Ackerflächen nördlich und südlich der Landstraße. Es sind die Gebüsch bestandenen Kleinhalden aus der vorindustriellen Phase des Bergbaus (Abb. 15, Abb. 7: Kleinhalden), deren Anzahl ursprünglich höher war (vgl. Kap. 2.4).

Zu den Zeitzeugen gehören auch die Förderschächte und Halden des 19. und frühen 20. Jahrhunderts. Im Norden von Helbra passieren wir die heute kaum noch wahrnehmbaren Reste des **von-Hövel-Schachtes**. Der Schacht wurde ab 1861 abgeteuft und erreichte 1864 in 147 m Tiefe seine Endteufe. Das Kupferschieferflöz wurde bei 138 m Tiefe angefahren. Der Abbau erfolgte von 1866-1885.

Am südlichen Ortsausgang von Helbra fahren wir durch ein Gewerbegebiet, auf dem noch die Reste zweier Schachtanlagen vorhanden sind.

Der **Schmid-Schacht** wurde in den Jahren 1844 bis 1846 bis auf eine Tiefe von 184 Metern abgeteuft. Dabei gab es große Probleme mit aus Schloten eindringendem Wasser. Bereits 1864 verlor der Schmid-Schacht seine Funktion als Förderschacht. Es erfolgte eine Umrüstung zum Schacht für die Wasserhaltung. Ab 1900 wurde hier Trink- und Brauchwasser gefördert. Erhalten ist der um 1850 aus Zechsteinkalk errichtete dreigeschossige Förderturm. Die Gewände der Fensteröffnungen sind als Rundbögen aus Siebegeröder Sandstein ausgeführt. Aus dem gleichen Material entstand auch die Verdachung des Portals. Im Gebäudeinneren ist ein eintrümig angelegter Förderhaspel aus dem Jahr 1892 erhalten. In Resten erhalten ist auch die Halde des Schmid-Schachtes (vom Bus aus nicht sichtbar).

An den Förderturm schließt sich ein als eingeschossiger Fachwerkbau ausgeführtes Fördermaschinenhaus mitsamt Schachtkäue an. Im Maschinenhaus steht eine Flachseil-Fördermaschine aus dem Jahr 1908. Darüber hinaus besteht eine Bergschmiede mit erhaltener Werkzeugausstattung und Schmiedefeuer. Über der Anlage erhebt sich ein genietetes Fördergerüst. Die Befahrung erfolgte mit einem zwei Personen fassenden Förderkorb. Im Bereich der Mansfelder Mulde ist die Schachtanlage eine der Letzten ihrer Art und zeigt die verschiedenen bergbaulichen Funktionen in bemerkenswerter Geschlossenheit.

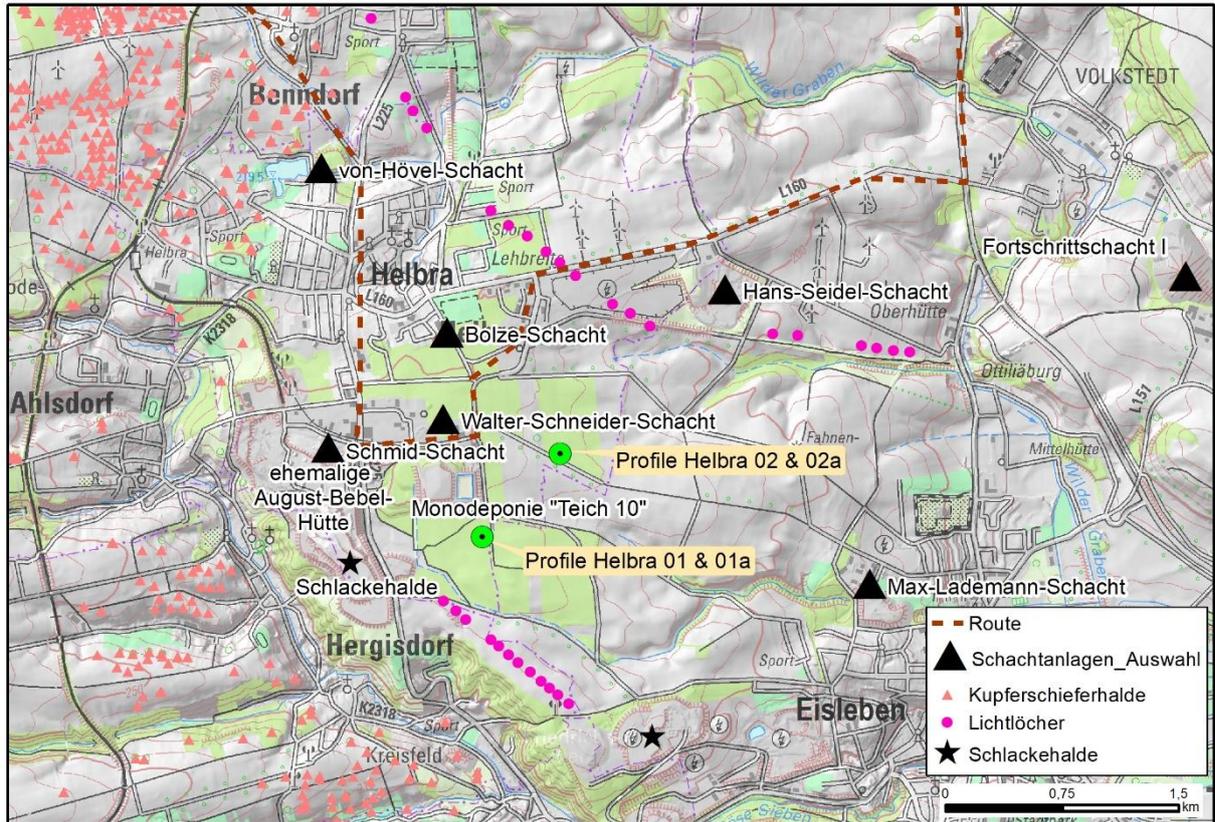


Abb. 15: Montanhistorische Objekte im Exkursionsgebiet Helbra und Umgebung

Unmittelbar südlich des Schmid-Schachtes liegt das Gelände der ehemaligen August-Bebel-Hütte (früher Koch-Hütte), einschließlich ihrer imposanten Schlackehalde. Hier wurden von 1880 bis 1990 die im Schmelzprozess entstandenen Schlacken abgelagert. Die Halde hat ein Volumen von etwa 20 Mio. m<sup>3</sup>. Ein Teil der Schlacken wurde in den vergangenen Jahren entnommen und für den Straßenbau verwertet.

Die Ernst-Schächte 1 bis 4 (später **Walter-Schneider-Schächte**) liegen direkt benachbart zur ehemaligen August-Bebel-Hütte. Ihr Standort ist durch die Ruine des Malakowturms über Schacht 4 zu finden, den wir auf der Fahrt zum Exkursionspunkt 2 passieren.

Der **Bolze-Schacht** war von 1853 bis 1875 in Betrieb. Erwähnenswert ist die ähnlich wie auf dem benachbarten Schmid-Schacht eingebaute Fahrkunst. Der Bolze-Schacht diente zeitweilig zur Aufnahme von Abwässern in den Schlüssel-Stollen. In den 1980er Jahren bis 1992 wurden salzige Wässer aus der Sangerhäuser Mulde hierher übergeleitet und über Schluckbohrungen in die gefluteten Grubenräume der Mansfelder Mulde eingeleitet.

Zwischen Exkursionspunkt 2 und Exkursionspunkt 3 passieren wir östlich von Helbra den ehemaligen **Hans-Seidel-Schacht** (Hohenthalschacht). Er bestand aus zwei Schächten mit einer Tiefe von jeweils 480 m. Die Abteufung begann Ende des 19. Jahrhunderts. 1949/50 wurden im Hohenthalschacht und zwei weiteren Schachtanlagen auf Befehl der sowjetischen Militäradministration von der SDAG Wismut umfangreiche Untersuchungen der Urangehalte vorgenommen. Der Urangehalt erreichte aber nur in wenigen Analysen Werte > 0,03 %, so dass man die Möglichkeit einer systematischen Gewinnung nicht weiterverfolgte. 1989 wurde mit dem Abbau von Haldenbergen begonnen. Sie wurden in aufbereiteter Form für den Wege- und Straßenbau eingesetzt. In jüngster Zeit ist für den ehemaligen Hans-Seidel-Schacht und viele weitere Halden und Schachtanlagen das solare Zeitalter angebrochen. Die alten Bergbaustandorte werden mit Photovoltaik-Freiflächenanlagen bestückt.

### 3.2.3. Erzverhüttung und Geschichte der August-Bebel-Hütte

Im nahen Umfeld des Ortes Helbra befanden sich bereits im 19. Jahrhundert mehrere Förderschächte (Ernstschächte, Schmidtschacht, Hövelschacht). Mit den bis dato üblichen Kleinhütten konnten die geförderten Erzmengen nicht mehr bewältigt werden.

So entstand 10 Jahre nach Inbetriebnahme der Krughütte bei Eisleben 1880 die Kochhütte (ab 1951: August-Bebel-Hütte) bei Helbra. Sie war die zweite Großhütte der Mansfeldschen Gewerkschaft. Hier wurde der sogenannte Kupferstein (Rohstein) erschmolzen, welcher dann in den Hettstedter Hütten weiterverarbeitet wurde. Kupferstein ist ein Zwischenprodukt, das vorwiegend aus Kupfer, Eisen und Schwefel besteht.

Die anfallende Kupferschlacke wurde teils aufgehaldet und teilweise zu Wickelsteinen, Pflastersteinen, Bauformsteinen oder Schotter weiterverarbeitet. Die genormten Pflastersteine waren extrem haltbar und durch die Normung gut zu verarbeiten. Die Pflastersteine aus Mansfeldschlacke sind in der Region noch heute sehr präsent (Abb. 16), wurden aber bspw. auch zur Deichbefestigung in den Niederlanden eingesetzt.



Abb. 16: Mansfelder Schlackesteine. (Fotos: K. Schuberth)

Bis Ende des 19. Jahrhunderts waren Kupfer und Silber die einzigen Hauptprodukte, welche aus dem Kupferschiefer gewonnen wurden. Mit der Zeit kamen jedoch durch verbesserte Verhüttungstechnologien und neue Erfindungen weitere Produkte hinzu.

Die Hauptprodukte des Unternehmens waren: Kupfer als Mansfeld-Raffinat (1871) und als Mansfeld-Elektrolytkupfer (1938) in verschiedenen Formaten wie Blöcken, Platten, Barren, Stangen, Drahtbarren (Wirebars) und ab 1971 als Kupferdraht, Silber als Zementsilber (99,90 % Ag (1827)) und Elektrolytsilber (99,96 % Ag (1926)) in Barren und als Granulat, Gold als Feingold in Barren, Blei, Zinkvitriol, Zinkoxid, Bleimennige, Schwefelsäure, Jod in Apothekenqualität, Thallium als Fällschlamm, Cadmium als Zementcadmium, Platin als Pulver, Palladium als Pulver, Selen, Nickelsulfat, Vanadiumpentoxid, Germanium als Fällschlamm, Rhenium, Molybdän als Ferro-Molybdän während des ersten Weltkrieges, Eisenerz als Granulat (1978) und Messing in Blechen und weiteres Halbzeug (KOCH 2022).

Am 10. September 1990 erfolgte der letzte Ofenabstich. Die Gebäude und Betriebsanlagen wurden in den Folgejahren vollständig zurückgebaut. Das Ökologische Großprojekt Mansfelder Land wurde vom Geologischen Landesamt Sachsen-Anhalt (heute: Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt) betreut, z. B. Sicherung „Teich 10“ (Theisenschlamm). Auf dem Gelände der Hütte befindet sich heute ein Gewerbegebiet.

Der anfallende Theisenschlamm (abgefilterter und deponierter Flugstaub aus dem Verhüttungsprozess) wurde vor allem in die Monodeponie „Teich 10“ eingespült, welche sich in der Nähe der ehemaligen Kupferhütte Helbra befindet. Bis zum Jahr 1990 wurden in dieser Anlage 200.000 Kubikmeter abgefilterter Flugstaub mit einer Schichthöhe von neun Metern verbracht. Ein Großteil der Ablagerung fand in der Periode zwischen 1982 und 1990 statt. Hierbei wurde der Theisenschlamm direkt von den

Gaswäschern unter Einsatz von Wasser mit einer Größenordnung von 1.000 bis 1.200 Kubikmeter pro Tag in das Becken gespült. Bis September 1990 war der anfallende Flugstaub dadurch stets mit Wasser bedeckt. Nach der Schließung der Kupferhütte blieb die Deponie „Teich 10“ für drei Jahre unberührt und fiel somit trocken (SCHUBERT et al. 2003: 3).

1993 wurden im Rahmen der ÖGP (Ökologische Großprojekte) „Sofortmaßnahmen gegen drohende Staubverfrachtungen“ veranlasst, sodass ab Sommer 1993 10.000 Tonnen Theisenschlamm und Material mit etwa gleicher Zusammensetzung in dieses Areal umgelagert wurden. Bis zum Jahr 2001 wurde auch der Flugstaub anderer Halden in „Teich 10“ überführt. Heute nimmt die Deponie eine Fläche von 25.000 Quadratmetern ein. Das seit 1993 abgelagerte Material hat eine Schichtdicke von 0,5 m, die Gesamthöhe der Deponie beträgt 9,5 m. Insgesamt wurden bis zum Jahr 2002 450.000 t Theisenschlamm eingebettet (SCHUBERT et al. 2003).

Während der Sanierung der Bleihütte Hettstedt in den 90er Jahren ist es vermutlich ebenfalls zur Freisetzung von Schwermetallen gekommen, wie Untersuchungen des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt zeigten (LAU 2018). Es ist daher davon auszugehen, dass bis Anfang der 2000er Jahre weitere Schadstofftransporte über den Luftpfad erfolgt sind.

#### 3.2.4. Bodenkundliche Untersuchungen auf Schwermetallbelastungsflächen

Wolfgang Kainz

Die **Bodenprofile am Exkursionspunkt 2 (Profildaten im Anhang S. 58-65)** liegen am Südwestrand der Mansfelder Mulde auf einem Löss-Plateau. Die Klimaparameter des Standortes aus der Periode 1981-2010 ([www.agraratlas.uni-halle.de](http://www.agraratlas.uni-halle.de)): Mittlere Jahrestemperatur: 8,9 °C; Mittlerer Jahresniederschlag: ca. 550 mm; Mittlere klimatische Wasserbilanz: bei ca. -60 mm.

Präsentiert werden die Profilaufnahmen und Analyseergebnisse der Erstaufnahme 1993 (Profile Helbra 01 im Anhang S. 58-59 und Helbra 02 im Anhang S. 62-63) sowie die Nachuntersuchung 2022 in der Nähe der Erstaufnahmen (Profile Helbra 01a im Anhang S. 60-61 und Helbra 02a im Anhang S. 64-65) (Abb. 15).

Die Untersuchungen 1993 dienten der Auswahl und Charakterisierung der damals landwirtschaftlich genutzten Böden im Umfeld der August-Bebel-Hütte in Helbra, die aufgrund ihrer Belastung mit Spurenelementen zur Aufforstung vorgesehen waren.

Die Bodenprofile zeigen die Varianz der Böden des Landschaftsbereiches. Profil Helbra 01 liegt in einer flachen Talung und ist stauwasserbeeinflusst und Profil Helbra 02 befindet sich auf der Hochfläche und ist sickerwasser dominiert. Beide Profile wurden 1993 noch als Acker genutzt und lagen im engeren Immissionsbereich der Hütte in Helbra. Auf beiden Profilen wurde aufgeforstet.

Die damaligen Untersuchungsergebnisse haben den Bodenzustand vor der Aufforstung festgehalten (Profil Helbra 01 war zum Aufnahmezeitpunkt im Zustand der Anpflanzung). Profil Helbra 02 war Ackerfläche mit Unkraut bestandenem Randstreifen.

Das erste **Bodenprofil am Exkursionspunkt 2 (Helbra 01a, Profildaten im Anhang S. 60-61)** liegt auf dem Pollebener Löss-Plateau, südöstlich von Helbra und südöstlich der Halde des Ernst-Schachtes und des Absetzerteiches 10. Der Schurf liegt auf einem welligen Plateau und hier im Randbereich eines sehr flachen Muldentals, auf einem NW-exponierten Flachhang. Die aktuelle Nutzung ist ein Laub-Mischwald. Der Vegetationszustand ist ein Traubeneichen-Linden-Ahorn-Jungwuchs mit hohem Totholz-Anteil. Aktuell ist ein Mull als Auflagehumus entwickelt.

Das Schichtprofil besteht von oben nach unten aus:

Schicht 1 – rezenter humoser Abschlammflöss der Talfüllung

Schicht 2 – Löss der Hauptlage

Schicht 3 – periglazialer Schwemmlöss der Mittellage

Der Boden ist ein Parabraunerde-Pseudogley-Tschernosem, d. h. eine durch Lessivierung und Stauwasser überlagerte Schwarzerde.

Das zweite **Bodenprofil am Exkursionspunkt 2 (Helbra 02a, Profildaten im Anhang S. 64-65)** liegt ebenfalls auf dem Pollebener Löss-Plateau, südöstlich von Helbra und östlich der ehemaligen Hütte. Der Schurf liegt auf einem welligen Plateau und hier auf einem nordexponierten Flachhang. Die aktuelle Nutzung ist ein Laub-Mischwald. Der Vegetationszustand ist ein Ahorn-Linden-Hainbuchen Jungwuchs mit Traubeneichen, Riesenschwingel und mit hohem Totholz-Anteil. Aktuell ist ein Mull als Auflagehumus entwickelt.

Das Schichtprofil besteht von oben nach unten aus:

Schicht 1 – rezenter humoser Abschlämmloß

Schicht 2 – Löss der Hauptlage

Schicht 3 – Löss-Fließerde der Mittellage (Braunlöss nach LIEBEROTH 1982, S. 69)

Der Boden ist ein Parabraunerde-Tschernosem, d. h. eine durch jüngere Lessivierung überlagerte Schwarzerde.

Trotz der hohen Spurenelementgehalte im Boden wurden bei der Vegetationsaufnahme auf den Helbraer Profilen keine Weiserarten für Spurenelemente gefunden. Der Bestand an Regenwürmern entspricht dem vergleichbarer Waldstandorte in Sachsen-Anhalt. Das gleiche Bild ergibt sich bei der Betrachtung der mikrobiellen Biomasse und der Bodenatmung (siehe Anhang Bodenbiologie). Ein Einfluss der Schwermetalle ist somit nicht direkt erkennbar. Es ist zu vermuten, dass durch die mäßig sauren bis schwach alkalischen pH-Werte des Bodens Schwermetalle immobil und daher nicht bioverfügbar vorliegen.

1993 wurde von Bodenkartierer Hans Schröder (+) die Idee geäußert, dass durch die Aufforstung zwei Prozesse ablaufen könnten:

- A. Versauerung des Bodens durch die Bäume → Auswaschung der Metalle in den Untergrund → Festlegung der Metalle im kalkhaltigen Untergrund. D.h. Verminderung der sich im Stoffkreislauf befindenden Masse an Schwermetallen und Verzögerung der Kreisläufe bzw. der Auswaschung aus den Böden.
- B. Lösung der Metalle im Boden, Aufnahme und Transport der Metalle in das Laub und die Früchte der Bäume → Erneute Anreicherung in der Humusaufgabe.

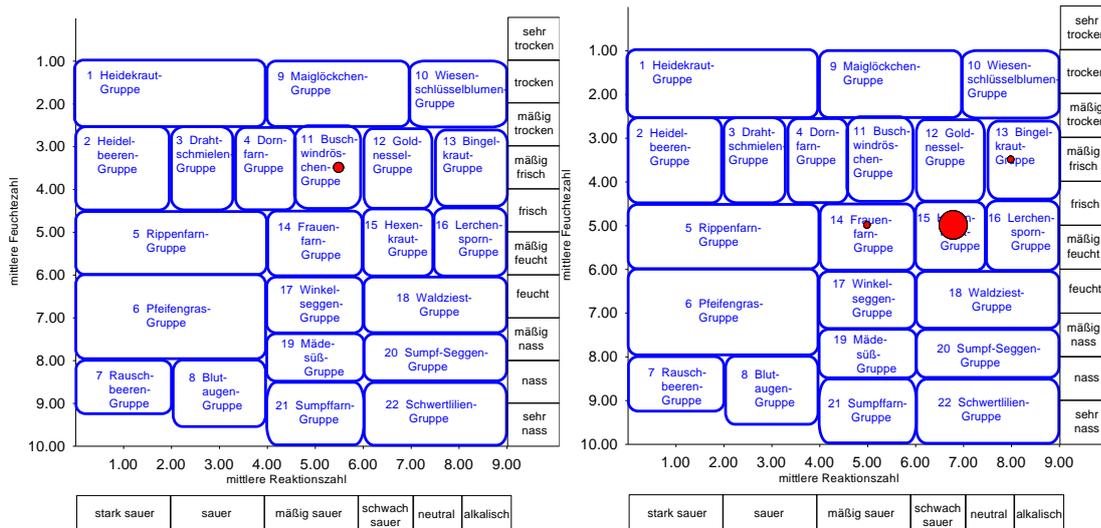


Abb. 17: Veränderungen der Weiserzahlen der Krautvegetation am Profil Helbra 02 nach fast 30-jährigem Baumwachstum: links Aufnahme 1993, rechts Aufnahme 2022

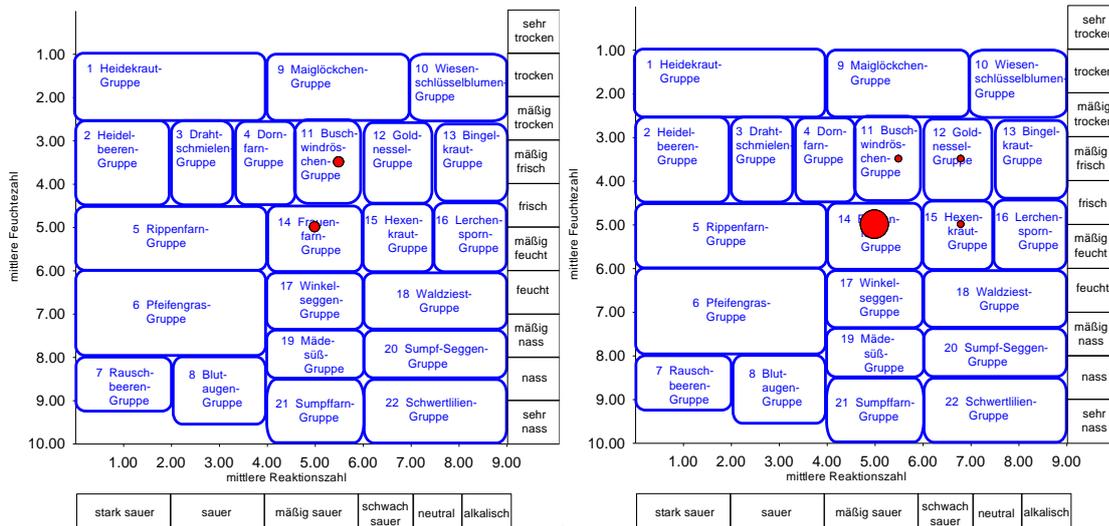


Abb. 18: Veränderungen der Weiserzahlen der Krautvegetation am Profil Helbra 01 nach fast 30-jährigem Baumwachstum: links Aufnahme 1993, rechts Aufnahme 2022

Zur Überprüfung beider Thesen wurden beide Standorte nach knapp 30 Jahren erneut betrachtet und analysiert. Dazu wurden Vegetationsaufnahmen, Bodendokumentationen, Boden- und Spurenelementanalysen angefertigt (Profildaten im Anhang S. 52-59).

*Bodenveränderung anhand der Weiserzahlen der Krautvegetation 1993-2022*

Nach fast 30-jähriger Aufforstung zeigt die Krautvegetation Veränderungen des Bodenfeuchte-regimes und des Säurezustandes der Böden an (Abb. 17). Die Veränderungen am Profil Helbra 01 (Abb. 18) sind nicht so deutlich, zeigen aber eine Verschiebung des Schwerpunktes der ökologischen Gruppen, was mit dem Bodenwasserhaushalt in Zusammenhang stehen könnte. Beide Profile wurden in der Tendenz feuchter und basischer. Die Feuchteänderungen können mit der Bodenbedeckung erklärt werden. Die Tendenz der Abnahme des Säuregrades zeigt sich eher nicht.

Tiefe in dm	Hu- mus	pH in CaCl <sub>2</sub>	Cu	Pb	Zn	Tiefe in dm	Hu- mus	pH in CaCl <sub>2</sub>	Cu	Pb	Zn
	M-%						M-%				
Profil Helbra 01: 1993						Profil Helbra 01a: 2022					
0-3	3,6	5,4	221	237	317	0,0–0,2	8,6	5,8	173	232	357
						0,2–1,0	3,2	5,8	200	258	395
						1,0–2,0	3,2	6,0	203	258	403
Profil Helbra 02: 1993						Profil Helbra 02a: 2022					
0-3	4,7	6,9	242	346	548	0,0–0,8	5,8	5,2	148	225	341
						0,8–2,0	3,2	5,6	182	236	381
						2,0–3,2	2,9	6,0	179	243	393

Tab. 3: Stoffverlagerungen in den alten Axp-Horizonten der Profile Helbra 01a und Helbra 02a nach 30 Jahren Aufforstung ohne neuen Stoffzufluss. Die Festlegung der neuen Probenintervalle erfolgte nach Horizonteigenschaften wie Farbe, geschätzter Humusgehalt und Bodengefüge

#### *Entwicklung von Bodenparametern und Schwermetallgehalten 1993-2022*

FORNAÇON verglich 2004 in diesem Gebiet aufgeforstete Böden mit Acker-Profilen. Sie belegte Absenkungen des pH-Wertes in Abhängigkeit vom Baumbestand und damit einhergehend eine Zunahme der pflanzenverfügbaren Elementfraktionen. Es konnten aber keine Stoffverlagerungen nachgewiesen werden. Demgegenüber ist die Beprobung nach 30 Jahren am gleichen Ort unter veränderter Nutzung und veränderten äußeren Einflüssen von Interesse, auch wenn diese Veränderungen langsam und unterhalb aller Schwellenwerte verlaufen. Zurzeit ist der Stoffumsatz in den jungen Waldböden noch sehr hoch und eine initiale Humusaufgabe hat sich noch nicht gebildet.

An beiden Profilstandorten haben sich Bodengefüge, Bodenparameter und Spurenelementgehalte in den ehemaligen homogenen Ackerhorizonten geändert (Tab. 3). Dabei sind die Profile Helbra 02 und Helbra 02a besser vergleichbar als die Profile Helbra 01 und Helbra 01a. Letzteres ist durch die Versumpfung des flachen Muldentales im Bereich des Profiles bedingt. Dadurch musste das Profil Helbra 01a in den Randbereich des Tales verlegt werden.

Durch die unterschiedliche Bodenwasser-Dynamik nahmen die pH-Werte im Tal zu und auf der Hochfläche ab. In beiden Profilen zeigt sich eine Abnahme der pH-Werte nach oben, d. h. eine von der Oberfläche aus beginnende Versauerung.

Entsprechend ist ein Humusumbau in den ehemaligen homogenen Ackerhorizonten zu beobachten (Tab.3). In der ersten Probe der Neubeprobung baut sich ein neuer Wald-Humushorizont mit höheren Humusgehalten als der Ausgangshorizont auf. Im unteren Teil des ehemaligen Ackerhorizontes findet eine Humuszehrung statt und die Humusgehalte verringern sich. Diese Differenz ist auf der Hochfläche durch die ausbleibende Düngung größer.

Die Spurenelemente, hier als Beispiel Cu, Pb und Zn, zeigen in den oberen Zentimetern eine Abnahme der Elementgehalte und im Fall Cu in Profil 2a eine Zunahme in der zweiten Probe der ehemaligen Ackerhorizonte (Tab. 3). Bei Pb sind die unteren hohen Gehalte konstant, was mit geringerer Mobilität erklärt werden kann.

### 3.3. Exkursionspunkt 3 – Boden-Dauerbeobachtungs-Fläche Polleben

Koordinaten Parkmöglichkeit (sehr wenig Platz): [51.582337, 11.565018](#)

Michael Weller, Konrad Schuberth, Wolfgang Kainz, Henrik Helbig

#### 3.3.1. Geologie, Boden und Klima

Der **Exkursionspunkt 3 (Profildaten im Anhang S. 66-67)** befindet sich am Südwestrand der Mansfelder Mulde auf einem Lössplateau. Unmittelbar westlich des Standortes liegt die 130 m hohe Spitzkegelhalde des ehemaligen Kupferschieferbergwerks „Ernst-Thälmann-Schacht“ (früher „Vitzthum-Schacht“, Förderung 1915–1962).

Den Untergrund der BDF Polleben bilden Ablagerungen des Mittleren Buntsandsteins (Detfurth-Formation), die von Geschiebemergel und Schmelzwasserbildungen der Saale-Kaltzeit (Drenthe-Stadium) sowie um die 6 m mächtigem Löss der Weichsel-Kaltzeit bedeckt werden.

Die Klimaparameter des Standortes ([www.agraratlas.uni-halle.de](http://www.agraratlas.uni-halle.de)) aus der Periode 1981-2010 sind: Mittlere Jahrestemperatur: 8,9 °C; Mittlerer Jahresniederschlag: ca. 543 mm; Mittlere klimatische Wasserbilanz: bei ca. -77 mm.

Die BDF Polleben war als „BDF in Nähe einer Bergbauhalde“ projektiert, um mögliche Stoffflüsse aus der Halde zu überprüfen. Die Fläche ist in einer begrabenen alten Rinne angelegt, deren Relief sehr flach ist. Die Rinne ist mit mächtigem Schwemmlöss gefüllt und enthält fossile Humuszonen. Im Bodenprofil ist ein flach haftwasser- und kolluvial beeinflusster Braunerde-Tschernosem aus Abschlämmlöss über Löss über tiefem Schwemmlöss dokumentiert worden. Schwach entwickelte Braunerde-Tschernoseme mit Bv-Mächtigkeiten unter 2 dm wurden in der Mittelmaßstäbigen Standortkartierung 1:100.000 und der BÜK200 in Sachsen-Anhalt als Schwarzerden bzw. degradierte Schwarzerden angesprochen (LIEBEROTH 1982: S. 174, ALTERMANN & SCHRÖDER 1992). Diese Untergliederung hat sich bei der großmaßstäbigen Bodenkartierung als hilfreich erwiesen. Dem entsprechend erwiesen sich die BDF Polleben und ihr näheres Umfeld durch die Rinnenstruktur und das permanente Pflügen heterogener, als aus den vorhandenen Karten zu vermuten war.

#### 3.3.2. Boden-Dauerbeobachtung in Sachsen-Anhalt

Die Boden-Dauerbeobachtung ist ein deutschlandweit betriebenes Projekt, das von den Bundesländern nach einer verbindlichen Richtlinie (BARTH et al. 2022) eigenverantwortlich durchgeführt wird. Im Gegensatz zu zahlreichen Bodenuntersuchungen, die sich mit dem aktuellen Bodenzustand befassen, liegt bei der Boden-Dauerbeobachtung der Schwerpunkt auf der langfristigen und nach gleicher Methodik mehrfach wiederholten Bodenzustandsuntersuchung. Dazu sind eine nach vielfachen Gesichtspunkten repräsentative Flächenauswahl sowie Erst- und Wiederbeprobungen und die Einbindung in Messnetze und Spezialuntersuchungen erforderlich. So entstehen durch die Erstuntersuchung Ausgangswerte, auf deren Grundlage durch Wiederbeprobungen Zeitreihenauswertungen ermöglicht werden. Die dafür nötigen Untersuchungen werden auf sogenannten „Boden-Dauerbeobachtungsflächen“ (BDF) durchgeführt.

Die Boden-Dauerbeobachtung begann in Sachsen-Anhalt 1990. Die Einrichtungsphase wurde im Jahre 2006 mit dem Endstand von 70 BDF abgeschlossen. Dazu kam aus verschiedenen Gründen noch die Erstellung von 10 Vergleichsflächen, die nicht (mehr) den Status von regulären BDF besitzen, aber weiterhin auf die bodenkundlichen Kernparameter hin beprobt und untersucht werden. Parallel zur Einrichtung neuer BDF wurde mit Wiederbeprobungen begonnen, sodass mit Stand September 2023 bei rund 76 BDF und Vergleichsflächen die Grundlage für Zeitreihenauswertung gelegt ist.

Die Boden-Dauerbeobachtung in Sachsen-Anhalt verfolgt drei wesentliche Zielstellungen:

1. aktuelle Zustandserfassung repräsentativer Standorte mit umfassendem Untersuchungsprogramm;
2. Vorhaltung von bodenkundlichen „Eichstandorten“ für die Landesfläche;
3. frühzeitige Feststellung etwaiger Bodenveränderungen an repräsentativen Standorten, die eine Verdachtsprognose für das jeweils repräsentierte Gebiet erlauben.

Die parallele Untersuchung von Staubbiederschlägen an den BDF durch das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (beispielhaft in Abb. 19 für Cadmium dargestellt) erlaubt Rückschlüsse auf Gehaltsveränderungen im Boden (vgl. folgendes Kapitel).

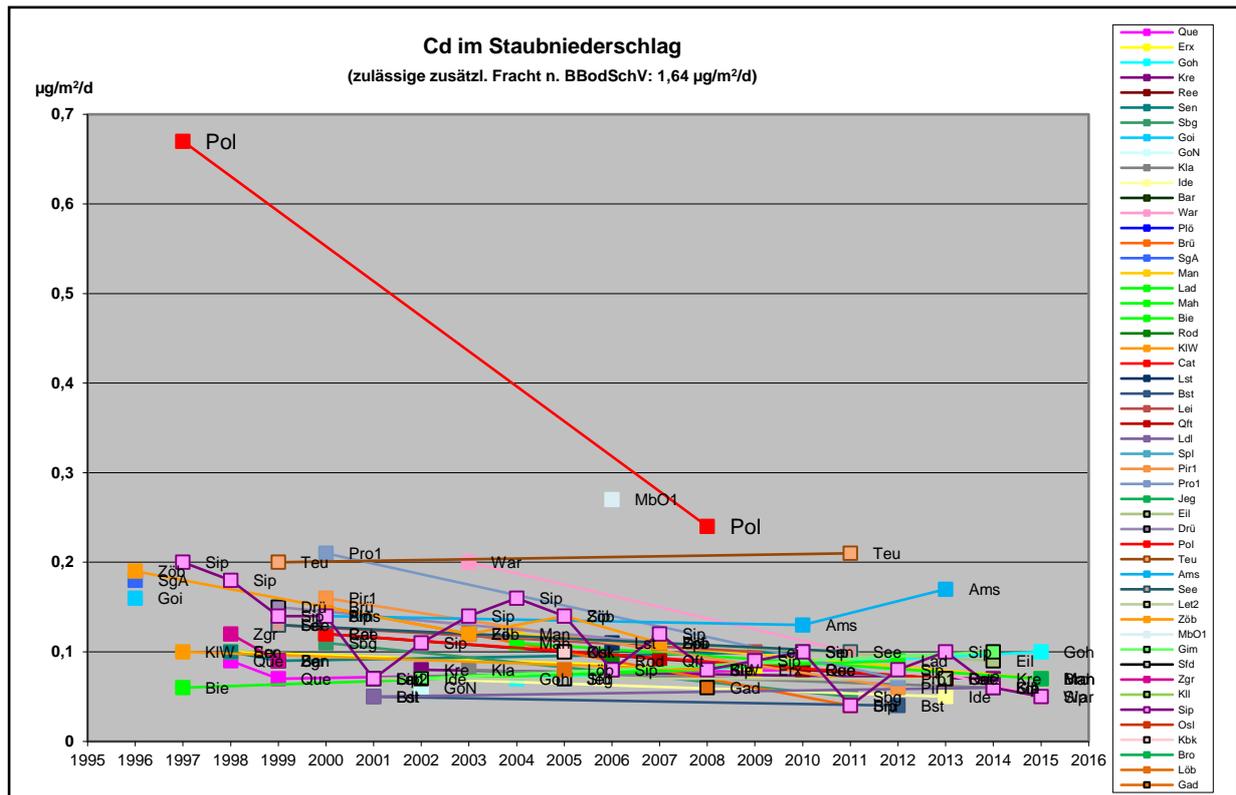


Abb. 19: Cadmiumgehalte [ $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ ] im Staubbiederschlag von 51 Boden-Dauerbeobachtungsflächen im Zeitraum 1996 bis 2015. „Pol“: Messwerte der BDF Polleben. Eigene Darstellung auf Basis von Daten des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt.

### 3.3.3. Untersuchungsergebnisse an der BDF Polleben

Um Veränderungen in den Bodeneigenschaften festzustellen, werden die Werte der Flächen-Probenahmen verschiedener Zeitpunkte verglichen. Im Jahre 2003 wurde die BDF Polleben erstmals wieder beprobt, 2013 zum zweiten Mal (zu den Schwermetalluntersuchungen 2013 liegen noch keine Analysenwerte vor). Profildaten im Anhang S. 60-61.

Bei den meisten chemischen Basisparametern zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede über die drei Beprobungen hin, die 19 Jahre abbilden. pH-Werte, Kationenaustauschkapazität sowie der Humusgehalt sind weitgehend unverändert geblieben. Lediglich die Basensättigung zeigt eine deutliche Zunahme. Die Korngrößenzusammensetzung zeigt erwartungsgemäß keine wesentlichen Veränderungen.

Zugenommen hat in der Periode 1994-2003 der Urangehalt im Boden (Abb. 20). Der Wert liegt allerdings weit unterhalb des im Jahre 2011 in einem Entwurf der Bundesregierung zur Erweiterung der Bundes-Bodenschutzverordnung (BMUB 2011) vorgeschlagenen Vorsorgewerts. Die vorgeschlagenen Vorsorgewerte für Uran und weitere 6 Elemente sind nicht in den Entwurf der Mantelverordnung (BMUB 2015)

übernommen worden. Als Grund für die Zunahme der Uran-Gehalte kommt Phosphat-Dünger in Frage, da dieser je nach Herkunft hohe Urangelhalte aufweisen kann (UTERMANN & FUCHS 2008).

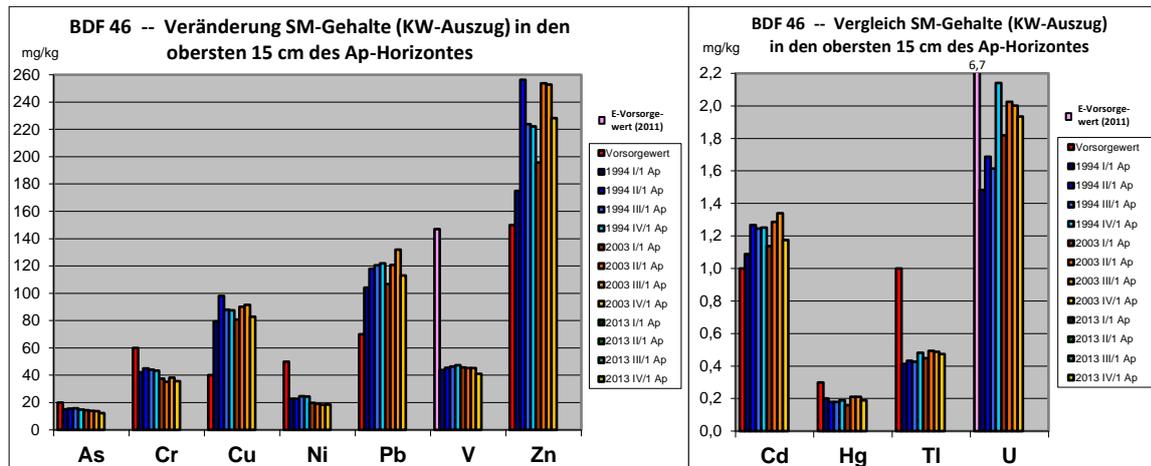


Abb. 20: BDF Polleben - Veränderung der Schwermetallgehalte in den obersten 15 cm des Ap-Horizontes (Königswasser-Mikrowellen-Auszug) zwischen 1994 und 2003. Angegeben sind je Element die Werte der 4 Probenahme-Teilflächen (eine Säule = eine Teilfläche): 4 Säulen links (blau) Probenahme 1994; 4 Säulen rechts (orange bis gelb) Probenahme 2003. rote Säulen = Vorsorgewerte der BBodSchV bzw. Mantelverordnung; rosa Säulen = geplante Vorsorgewerte, die jedoch nicht in die Mantelverordnung eingingen.

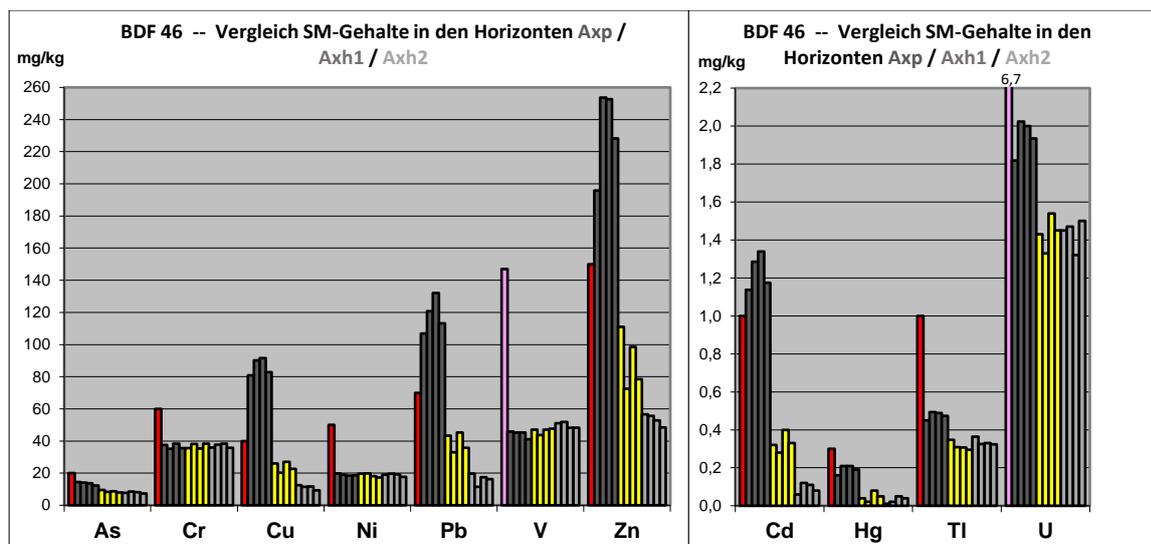


Abb. 21: BDF Polleben - Vergleich der Schwermetallgehalte der oberen 3 Horizonte (Königswasser-Mikrowellen-Auszug, Probenahme 2003). Angegeben sind je Element die Werte der 4 Probenahme-Teilflächen: linke 4 Säulen = Axp, mittlere 4 Säulen (gelb) = Axh1, rechte 4 Säulen = Axh2; rote Säulen = Vorsorgewerte der BBodSchV bzw. Mantelverordnung; rosa Säulen = geplante Vorsorgewerte, die jedoch nicht in die Mantelverordnung eingingen.

Ungewöhnlich hoch sind die Gehalte an Cadmium, Blei, Kupfer und Zink. Anfang der 1990er Jahre trocknete der Gaswäscher-Schlammteich (sog. „Theisenschlamm“) der zu dieser Zeit bereits stillgelegten August-Bebel-Hütte in Helbra aus (Exkursionspunkt 2). Der ausgetrocknete schwermetallhaltige Schlamm wurde mit der vorherrschenden Südwest-Luftströmung als Staub über das Mansfelder Land verteilt und in die Böden eingetragen (LÄGEL 2012, OERTEL 2003). Diese Einträge konnten 1997 im Bergerhoff-Sammler an der BDF Polleben nachgewiesen werden. Abb. 19 zeigt den hohen Cadmium-Messwert für die BDF Polleben („Pol“) in 1997 im Vergleich zu den anderen BDF. Infolge der Sanierungsmaßnahmen an den

Halden bzw. Schlammteichen der Hüttenstandorte (siehe S. 35/36) sanken die Immissionswerte deutlich ab (vgl. Abb. 19, Cadmium-Messwert „Pol“ in 2008). Wie in den Kap. 2.4 und 3.2 gezeigt, sind die Schwermetallgehalte in den Böden der Region auf Grund der Emissionen der Hüttenindustrie generell hoch, so dass davon auszugehen ist, dass die Staubabwehungen von den Deponien Anfang der 1990er Jahre nur für eine Teilmenge der Gesamtgehalte im Boden verantwortlich sind.

Dass die Schwermetallgehalte der BDF-Polleben im wesentlichen wohl nicht auf Abspülung von Haldenmaterial der unmittelbar benachbarten Halde des ehemaligen Ernst-Thälmann-Schachtes zurückzuführen sind, zeigen die Untersuchungen von SCHMIDT & FRÜHAUF (1997). Die Halde enthält nur wenig Kupferschiefer und deshalb nur geringe Schwermetallgehalte, die zudem fest gebunden sind.

Mit Hilfe der regelmäßigen Bodenuntersuchungen an der BDF Polleben kann das Verhalten der genannten Schwermetalle weiter beobachtet werden. Es zeigt sich einerseits, dass bereits eine gewisse Verlagerung in die Tiefe stattgefunden hat ( $A_p > A_{xh1} > A_{xh2}$ ) (Abb. 21) und andererseits, dass sich die Werte im  $A_p$ -Horizont zwischen 1994 und 2003 nur geringfügig verändert haben (Abb. 20). Allerdings weist LÄGEL (2012) eine signifikante Zunahme für Cd und Pb nach und führt dies auf Abwehungen von den Deponien bei Helbra zurück, während die erwartbare Zunahme von Cu und Zn nicht (signifikant) eingetreten ist, was Lägél auf den Entzug von Cu und Zn durch die Ackerpflanzen zurückführt. Cd, Pb, Cu und Zn liegen jedenfalls deutlich oberhalb der Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutzverordnung (Abb. 20 + 21).

Das Bodenprofil (siehe Anhang S. 60 - 61) ist eine Braunerde-Schwarzerde, die im Untergrund Haftnäsemerkmale aufweist. Das Schwermetall-Bindungsvermögen des Oberbodens ist für Cu als sehr hoch einzuschätzen. Die Basensättigung der Horizonte ist hoch bis sehr hoch. Die potenzielle Kationenaustauschkapazität ist ebenfalls hoch. Die Humusgehalte liegen im für diese Böden und ihre ackerbauliche Nutzung erwartbaren Rahmen, ebenso wie das C/N-Verhältnis.

Die  $k_f$ -Werte sind besonders im 4. und 5. Horizont sehr hoch, was auf den relativ hohen Anteil an Grobporen in den Proben zurückzuführen ist. Dies führt auch zu einer relativ geringen Trockenrohdichte im Vergleich zu den darüberliegenden Horizonten und dem liegenden eScg-Horizont. Letzterer ist substratgenetisch ein Schwemmlöss und demzufolge schon geogen bedingt relativ dicht gelagert. Im  $rA_{xp}$ -Horizont wurde eine Pflugsohlenverdichtung beobachtet und durch die bodenphysikalischen Analysen bestätigt. Ursache hierfür ist die Kombination aus Krümmenvertiefung und Auflast bei der Bodenbearbeitung, die zur Sackungsverdichtung in den Horizonten 2 bis 3 führten (SCHACHTSCHABEL et al. 1989, S. 163, 167 sowie EWALD et al. 1980, S. 202).

Infolge der hohen nutzbaren Feldkapazitäten der Horizonte (23 bis 29 Vol-%) und einer sehr hohen effektiven Durchwurzelungstiefe des Profils von 14 dm liegt die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum ( $n_{FkWe}$ ) bei ca. 370 Vol-% (extrem hoch). Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die negative klimatische Wasserbilanz (-77 mm/a) für den Bodenwasserhaushalt limitierend wirkt.

### 3.4. Exkursionspunkt 4 – Halde Fortschrittschacht (früher Wolfschacht)

Koordinaten Parkplatz (wenig Platz): [51.549852, 11.568312](#)

Henrik Helbig, Konrad Schuberth

Der Exkursionspunkt befindet sich am Südwestrand der Mansfelder Mulde, unmittelbar südöstlich von Volkstedt im Ausstrichbereich des Unteren Buntsandsteins. Er wird im Umfeld der Halde stellenweise von Geschiebemergel der Saale-Kaltzeit (Drenthe-Stadium) überlagert. An der Oberfläche liegt verbreitet Löss der Weichsel-Kaltzeit, der in der Gegend oft um die 5 m mächtig ist.

Die Großhalde besteht aus einer Spitzkegelhalde (ab 1951 mittels Höhenförderanlage aufgeschüttet), die einer Flachhalde (ab 1906 aufgeschüttet) aufsitzt. Sie ist Zeuge des ehemaligen Kupferschieferbergbaus in der Mansfeld-Mulde. Die Halde ist 153 m hoch und damit die höchste der drei Spitzkegelhalden im Mansfelder Land. Ihre Fläche beträgt 26 ha, ihr Volumen 8,5 Mio. m<sup>3</sup> und ihre Masse 16,2 Mio. t.



Abb. 22: Bergleute im Wolfschacht in der 1920er Jahren.

Quelle: [www.kupferspuren.eu](http://www.kupferspuren.eu)

Das Haldenmaterial stammt aus dem Wolf-Schacht (ab 1949 Fortschritt-Schacht, ab 1951 Fortschritt-Schacht 1). Er wurde ab 1906 abgeteuft und ist 581,2 m tief. Die Erzförderung begann 1923 und endete 1967. Die Förderung umfasste neben Kupferschiefer (Gesamtförderung 16,8 Mio. t Erz; Hauptfüllort 7. Sohle, 557 m Teufe) auch Kalisalz des Kaliflözes Staßfurt (1911–1914; 6. Sohle, 492 m Teufe).

Die Halde liegt auf eingezäuntem Firmengelände und ist unter der Nr. 4435-12 in der Geotopdatenbank des LAGB registriert.

Die teufenmäßige Erstreckung des Grubengebäudes des Fortschrittschachtes stellt sich wie folgt dar:

- 6. Sohle bei 298 m unter NN
- 13. Sohle bei 741 m unter NN.

Der Namensgeber des Wolfschachtes, Justizrat Dr. Theodor Wolf, war Deputierter und Hauptaktionär der Mansfeldschen Kupferschiefer bauenden Gewerkschaft. Der Wolfschacht sollte nach Fertigstellung und Inbetriebnahme den ca. 3 km weiter westlich gelegenen Hohenthal-Schacht (später Hans-Seidel-Schacht) ablösen, dessen Lagerstättenbereich weitestgehend abgebaut war.

Beim Abteufen des Schachtes traf man auf zwei Kaliflöze. In den Jahren 1911 bis 1914 wurden aus der Schachtröhre des Wolfschachtes heraus die zwei Kalisohlen aufgefahren. Das dabei gewonnene Kalisalz transportierte man mittels Drahtseilbahn zur Weiterverarbeitung nach Eisleben.

Im Jahr 1923 war der Ausbau zu einer Großschachtanlage so weit vorangeschritten, dass die Erzförderung aus der Schachtröhre des Wolfschachtes aufgenommen werden konnte. Bis dahin lief die Erzförderung über den Hohenthal-Schacht. Die Belegschaftsstärke wuchs jetzt sprunghaft von ca. 1.000 im Jahr 1920 bis auf ca. 4.000 im Jahr 1930.

Der Wolfschacht war an das Streckennetz der Mansfelder Bergwerksbahn angebunden. Der Bau der Bahnstrecke gestaltete sich auf Grund der Geländemorphologie sehr aufwendig. Es mussten vier Brückenbauwerke errichtet werden.

In den Jahren 1925 bis 1940 konnte die Abbauleistung durch Einsatz neuer technischer Anlagen und Verfahren (z.B. Schüttelrutschen, elektrische Huntehaspel, Geradstrebe) gesteigert werden. Dazu gehörte 1933/34 die Inbetriebnahme von zwei Personenseilbahnen zwischen der 7. bis 9. Sohle. 1936 konnte die untertägige Förderung mit Pferden vollständig durch Lokomotivförderung ersetzt werden. 1953 erfolgte die Inbetriebnahme einer Zahnradbahn zwischen der 7. bis 10. Sohle.

In der übertägigen Förderung nahm im Jahr 1951 die Höhenfördereranlage den Betrieb auf. Damit begann die Aufschüttung der Spitzkegelhalde.

1949 kamen durch einen Strebbruch fünf Bergleute ums Leben. Im Jahr 1952 gab es eine Methan-gasexplosion. Sie hatte u.a. die Einführung des elektrischen Geleuchts im Kupferschieferbergbau zur Folge. Bei einer weiteren Gasexplosion im Jahr 1960 verloren zwei Bergleute ihr Leben. Vier wurden schwer verletzt.

In den Jahren 1950 bis 1960 bewegte sich die Belegschaftsstärke zwischen 4.000 und 5.000 Personen. Beginnend mit dem Jahr 1960 erfolgte eine planmäßige Umsetzung von Arbeitskräften des Fortschrittschachtes in das Sangerhäuser Revier, bevor man am 8. Dezember 1967 die Erzförderung endgültig einstellte. Nach Verfüllung der Schachtröhre im Jahr 1971 erfolgte der Rückbau des Fördergerüsts und der Brücken der Bergwerksbahn.

In den Gebäuden des Fortschrittschachtes begann 1968 die Produktion von Stahlrohrmöbeln. Das war ein Glück für die ehemaligen Reviergebäude mit Lohnhalle und Kauentrakt, die so größtenteils erhalten werden konnten. Von 1985 bis zur Wende sind hier auch Handbohrmaschinen produziert worden. Die im Jahr 1995 gegründete „projekt Schul- und Objekteinrichtungen GmbH“ setzt am alten Schachtstandort die Produktion von Schul- und Büromöbeln bis heute fort.

Von der Kuppe der Halde zeigt sich ein guter Blick auf das gestufte Relief, das den Abbruch des Poll-ebener Löss-Plateaus in den Senkungsraum des Süßen Sees markiert. Diese Bruchlinie besteht aus mehreren Leistenschollen und zeigt sich in nordwestlicher Richtung als bewaldeter Hang der Spaltenzone von Volkstedt. Es ist eine subrosionsbedingte lineare Einbruchszone. Die Aufforstung erfolgte 1969 bis 1972 auf Flächen, die nicht mehr agrarwirtschaftlich genutzt werden konnten.



## 4. Anhang – Bodenprofildaten

# Exkursionspunkt 1 - Profil KA 036

## Standortsituation

<b>Bearbeiter:</b> Kainz	<b>TK25:</b> 4433 Wippra	<b>Datum:</b> 10. 07.1997
<b>Lage:</b> Gipskarstlandschaft des südlichen Harzvorlandes, Zechstein-Ausstrich; Das Profil liegt auf dem Bergbaulehrpfad nordwestlich des Röhrigschachtes bei Wettelrode im Kämker Revier.		
<b>RW:</b> 4449925	<b>HW:</b> 5709740	340 m NN
<b>Nutzung:</b> Forst	<b>Vegetation:</b> Dornfarn-Busch-Windröschen Traubeneichen-Buchen-Wald mit einzelnen Hainbuchen, Bergahorn und Linden	
<b>Humusform:</b> mullartiger Moder	<b>Relief:</b> Hangkomplex: im mittleren Bereich auf einem verflachten Hang mit buckliger Oberfläche, Höhe: 340 m über NN; Hangneigung 0,5° - 1°, S-exponiert	

## Profilbeschreibung

Schichtnummer	Horizontnummer	Horizont Stratigraphie/Lagen Substrat	Untergrenze in dm	Farbe	Humus	Kalk	Feinboden	Horizontbeschreibung
1	1	ojAh qh o-(z)xt(^mbl,bi)	0,3	10 YR 2/1	h5	Sp.	Tu4	ojAh aus Ton-Auffülle mit Kupferschiefer: schwarzer, stark schluffiger Ton, schwach grusig, sehr stark humos, in Spuren carbonathaltig, Bröckelgefüge, sehr stark durchwurzelt
	2	ojelCv qh o-(z)xet(^d+^mbl,bi,c)	0,8	7,5 YR 6/3	h2.2	c3	Tu3	ojelCv aus Ton-Auffülle aus Kupferschiefer mit Dolomitstein: hell brauner, mäßig schluffiger Ton, mäßig grusig, schwach humos, carbonathaltig, Subpolyederggefüge bis Polyederggefüge, sehr stark durchwurzelt
	3	ojAh qh o-(z)xu(^mbl,bi+Lo)	1,6	10 YR 3/1	h5	c0	Lu	ojAh aus Schluff-Auffülle aus Löss mit Kupferschiefer: bräunlich schwarzer, schluffiger Lehm, schwach grusig, sehr stark humos, carbonatfrei, Subpolyederggefüge bis Polyederggefüge, sehr stark durchwurzelt; unten Wurzelkeile
2	4	M qh u-(z)u(^s+^u-ro,Lo)	5	7,5 YR 6/4; rötlich	h3.1	c0	Lu	M aus Abschlammloess mit Sandstein: hell brauner, schluffiger Lehm, schwach grusig, mäßig humos, carbonatfrei, Subpolyederggefüge bis Polyederggefüge, stark durchwurzelt; feine Eisen-Mangan-Konkretionen; unten Steine
3	5	fAp^fAh LH p-(z)u(^s-z+Lo)	6,3	7,5 YR 4/2	h3.2	c0	Lu	fAp^fAh aus Hanglöss mit Sandstein: brauner, schluffiger Lehm, schwach grusig, mäßig humos, carbonatfrei, Subpolyederggefüge, sehr stark durchwurzelt; unten Wurzelkeile
4	6	fAel-Ah LH p-u(Lo)	7	7,5 YR 8/2	h2.1	c0	Lu	fAel-Ah aus Löss: fahl weißer, schluffiger Lehm, skelettfrei, schwach humos, carbonatfrei, Subpolyederggefüge bis Einzelkorngefüge, schwach durchwurzelt; unten Eiskeil-Pseudomorphosen
5	7	fBt LM p-t(Lo)	9	7,5 YR 4/6	(h)	c0	Tu3	fBt aus Löss: satt brauner, mäßig schluffiger Ton, skelettfrei, stellenweise humos, carbonatfrei, Polyederggefüge bis Prismengefüge, kaum durchwurzelt; unten kryoturbate Fahnen und Taschen, Eiskeil-Pseudomorphosen
6	8	ofBt LB p-(z)t(^mbl,bi,c)	<>10	2,5 Y 4/2	h0	c0	Tu3	ofBt aus Ton-Fließerde aus Kupferschieferzersatz: dunkel grünlich grauer, mäßig schluffiger Ton, schwach grusig, humusfrei bis kaum humos, carbonatfrei, Polyederggefüge, nicht durchwurzelt; auskeilend
	9	oilCtv LB p-(z)xt(^mbl,bi,c)	12,5	2,5 Y 2,5/1; dunkler	h0	c0	Tu3	oilCtv aus Ton-Fließerde aus Kupferschieferzersatz: schwarzer, mäßig schluffiger Ton, schwach grusig, humusfrei bis kaum humos, carbonatfrei, Plattengefüge, nicht durchwurzelt
	10	oilCtv LB p-nxt(^s-z+^mbl,bi,c)	14	2,5 Y 2,5/1; dunkler	h0	c0	Tu2	oilCtv aus Schuttton-Fließerde aus Kupferschieferzersatz mit Sandstein: schwarzer, schwach schluffiger Ton, stark steinig, humusfrei bis kaum humos, carbonatfrei, Plattengefüge bis Kohärentgefüge, nicht durchwurzelt
7	11	oixCtv AZ p-n(^s-z)	15	2,5 Y 8/6; ockergelb	h0	c1	Lu	oixCtv aus Schutt aus Sandstein: leuchtend gelber Schutt, humusfrei bis kaum humos, sehr carbonatarm, Einzelkorngefüge, nicht durchwurzelt; Malachit- und Limonit-Beläge
8	12	imCn z1Cs n-^s-z	>16	hell-gelblich-grau	h0	c1	^s-z	imCn aus Sandstein des Weißliegenden: hellgelblichgrau, sehr carbonatarm; Malachit- und Limonit-Beläge

Bemerkungen: Humus im Oberboden durch Kupferschiefer möglicherweise zu hoch.; h2.1: 1,0-<1,5; h2.2: 1,5-<2,0; h3.1: 2-<2,5; h3.2: 2,5-<4 M% Humus; AZ: Auflockerungszone, Sp.: Spuren, ^mbl, bi, c: bituminöser Schiefermergel-Zersatz

## Profilkennzeichnung

<b>Bodenformensymbol:</b>	YKn/LFn: u-(z) u(^s+^u-ro,Lo)/p-u(Lo)//p-(z)xt(^mbl,bi,c)
<b>Bodenform:</b>	Kolluvisol über fossiler Fahlerde aus Abschlammloess mit Sandstein über Löss über tiefer Ton-Fließerde aus Kupferschiefer
<b>sonst. Profilkennz.:</b>	nach Forstlicher Standortkarte: Go.Ts+Soa-6h (Sonderstandort)
<b>Anmerkungen:</b>	sehr alte Halden und Pingen des Kupferschieferbergbaus
<b>Bodenwasser:</b>	Der Standort ist sickerwasserabhängig, mäßig durchlässig, gut speicherfähig und sehr schwach stauwasserbeeinflusst.

### Physikalische und chemische Analysen

Horizont-nr.	Tiefe dm	Skelett Mas-%	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)						
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T
1	0,3	1,5	1	2	2	36	17	12	30
2	0,8	11,8	4	3	3	21	17	14	38
3	1,6	3,3	4	4	2	31	19	12	28
4	5	8,6	6	3	4	25	21	13	28
5	6,3	0	7	4	4	25	22	12	26
6	7	0	9	6	5	32	24	7	17
7	9	0	2	3	2	21	20	10	42
8	10	0	5	4	5	20	21	14	31
9	12,5	0	6	4	3	13	15	13	46
10	14	0	1	2	2	36	17	12	30

Horizont-nr.	Carbonat Mas-%	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	potentiell austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS %
				Na	K	Mg	Ca	H-Wert	
1	Sp.	6,1	5,7	0,5	0,9	3,4	18,7	22	52
2	2,2	7,5	7	0,7	0,6	3,2	15,8	1	95
3	0	5,4	4,8	0,4	0,8	2,8	12,9	21	45
4	0	5,2	4,8	0,3	0,3	0,4	4	10	33
5	0	6	5,3	0,3	0,3	0,7	5,3	8	47
6	0	5,9	5,2	0,1	0,3	0,1	3	3,5	50
7	0	6,1	5,5	0,5	0,9	0,2	5,9	7,5	50
8	0								
9	0	6,6	5,9	0	0,6	0,5	12,6	10	58
10	0	6,3	5,7	0,1	0,7	0,9	21,2	18	56
11	0,4								

Horizont-nr.	KAK <sub>p</sub> cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	C <sub>org</sub> Mas-%	Humus Mas-%	C <sub>lc</sub> Mas-%	N <sub>t</sub> Mas-%	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>
1	46	7,0	12,1	4,5	0,504	23
2	21	1,0	1,7	2,1	0,133	23
3	38	5,0	8,6	3,0	0,378	21
4	15	1,3	2,2		0,119	11
5	15	1,5	2,6		0,116	13
6	7	0,6	1,0			16
7	15	0,3	0,5			
8	17	0	0,0	0,9	0,231	4
9	24	0	0,0	4,5	0,147	31
10	41	0	0,0	9,8		

Bemerkungen: Die Unterscheidung von organischem Kohlenstoff (C<sub>org</sub>) und lithogenem Kohlenstoff (C<sub>lc</sub>) wurde aus dem Vergleich der C<sub>org</sub>-Gehalte der Horizonte abgeleitet. Sp. - Spuren

Horizont- nr.	As	B	Ba	Cd	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Tl	U	V	Zn
	in mg/kg												
1	352	124	3012	10,9	196	12860	304,0	188	18760	6,8	20,5	1347	1486
2	148	126	4331	6,9	141	7077	139,0	129	8125	6,6	14,5	695	976
3	169	93	4717	6,1	204	7255	179,0	123	8289	5,2	15,1	738	922
4	37	78	4833	1,2	57	1024	8,4	48	1139	-2,5	-6,3	132	346
5	42	53	4910	1,5	54	1150	7,3	64	1019	-2,5	-6,3	129	339
6	32	42	5986	0,9	39	471	5,4	28	521	-2,5	6,9	81	146
7	28	105	7869	1,8	35	2663	6,9	76	1457	4,7	11,0	130	518
8	71	151	4424	2,4	234	4223	39,1	128	7014	10,4	8,3	371	1268
9	207	163	2870	8,0	568	8900	313,0	260	10960	13,1	19,3	1347	1732
10	613	142	2363	16,1	172	26520	489,0	288	27540	3,9	38,2	2132	1984
11	699	128	1549	12,3	188	36120	403,0	166	25280	6,1	29,0	1744	1124
12	326	81	400	4,7	375	66960	89,3	67	10390	-2,5	17,5	182	1351



# Exkursionspunkt 1 - Profil KA 037b

## Standortsituation

<b>Bearbeiter:</b> Kainz, Dr. Helbig	<b>TK25:</b> 4433 Wippra	<b>Datum:</b> 02.06.2023
<b>Lage:</b> Gipskarstlandschaft des südlichen Harzvorlandes, Zechstein-Ausstrich; Das Profil liegt auf dem Bergbaulehrpfad nordwestlich des Röhrigschachtes bei Wettelrode im Kämker Revier.		
<b>RW:</b> 4449878	<b>HW:</b> 5709776	342 m NN
<b>Nutzung:</b> Forst	<b>Vegetation:</b> Dornfarn-Busch-Windröschen Traubeneichen-Buchen-Wald mit einzelnen Hainbuchen, Bergahorn und Linden	
<b>Humusform:</b> F-Mull, stellenweise mullartiger Moder	<b>Relief:</b> welliges Plateau; auf einer Verebnung, randlich auf einer flach gewölbten Kuppe mit welliger Oberfläche; Hangneigung < 0,5°	

## Profilbeschreibung

Schichtnummer	Horizontnummer	Horizont Stratigraphie/Lagen Substrat	Untergrenze in dm	Farbe	Humus	Kalk	Feinboden	Horizontbeschreibung
0	-1	L qhhn MUO	+0,1	gelb-braun	7	0		L aus Buchenlaub
	0	Of qhhn MUO	0	braun	h7.1	c1		Of aus F-Mull: braun, skelettfrei, halbtorf, sehr carbonatarm, sehr stark durchwurzelt; deutliches Pilzmycel
1	1	Ah> qhhm oj-(z)xt(^k+^mbl,bi)	1	10 YR 2/2	h4	c1	Lt3	Ah> aus Kipp-Ton aus Kupferschiefer: schwarzer, mäßig toniger Lehm, schwach grusig, stark humos, sehr carbonatarm, Subpolyedergefüge, sehr stark durchwurzelt
	→2	ojilCv+fOh ? qhhm MO	3,5	10 R 2,5/1	h2.2	c2		ojilCv+fOh aus Moder: rötlich schwarzer Humus, skelettfrei, extrem humos, carbonatarm, Krümelgefüge, mit Wurzelfilz; untere Grenze geneigt, auskeilend
	3	ojilCv qhhm oj-(z)ut(^k+^mbl,bi)	2,5	10 YR 2/1	h6	c2	Lt3	ojilCv aus Kipp-Ton aus Kupferschiefer: schwarzer, mäßig toniger Lehm, schwach grusig, schwach humos, carbonatarm, Subpolyedergefüge bis Polyedergefüge, mäßig durchwurzelt; mit ockerbraunen Brocken
	4	ojilCv qhhm oj-(z)xl(^k+^mbl,bi)	3,5	10 YR 2/1; schwarz	h2.2	c1	Lt2	ojilCv aus Kipp-Lehm aus Kupferschiefer: schwarzer, schwach toniger Lehm, sehr schwach grusig, schwach humos, sehr carbonatarm, Plattengefüge, mäßig durchwurzelt; auskeilend und verzahnend
2	5	fAlh qh o-(z)t(^s,d-z+^u-ro,Thg)	6,5	7,5 YR 3/4; rötlich	h3.2	c1	Lt3	fAlh aus Ton-Auffülle aus Hangton mit Sandstein des Weißliegenden: dunkel brauner (7,5 YR 3/4; rötlicher), mäßig toniger Lehm, schwach grusig, mäßig humos, sehr carbonatarm, Krümelgefüge bis Subpolyedergefüge, stark durchwurzelt; Regenwurmröhren
3	6	fBt-Sd qh o-t(^t-ro,T)	9	7,5 YR 4/6; rötlich	(h)	Sp.	Tu2	fBt-Sd aus Ton-Auffülle aus Ton-Fließerde: satt brauner, schwach schluffiger Ton, skelettfrei, stellenweise humos, in Spuren carbonathaltig, Polyedergefüge, schwach durchwurzelt; mit schwachen Tonbelägen
4	→7	ojilCv qh o-(z)l(^mbl,bi+Lhg)	10,5	10 YR 2/1; schwarz	h2.1	Sp.	Lt2	ojilCv aus Lehm-Auffülle mit Kupferschiefer: schwarzer, schwach toniger Lehm, schwach grusig, schwach humos, in Spuren carbonathaltig, Subpolyedergefüge, schwach durchwurzelt; absetzig
5	8	fAlh qh o-(z)t(^u-ro+Thg)	10,5	10 YR 3/1; grau	h2.1	Sp.	Lt3	fAlh aus Ton-Auffülle aus Hangton mit Schluffstein: bräunlich schwarzer, mäßig toniger Lehm, schwach grusig, schwach humos, in Spuren carbonathaltig, Subpolyedergefüge, schwach durchwurzelt; mit ockerroten Brocken; mit mürben olivfarbenen Schluffstein-Bröckchen
	9	fAh-Bht qh o-(z)t(^u-ro+Thg)	12	10 YR 3/2	h2.1	Sp.	Lt3	fAh-Bht aus Ton-Auffülle aus Hangton mit Schluffstein: bräunlich schwarzer, mäßig toniger Lehm, schwach grusig, schwach humos, in Spuren carbonathaltig, Subpolyedergefüge bis Polyedergefüge, mäßig durchwurzelt; mit Ton-Humus-Belägen; mit ockerroten Brocken; mit mürben olivfarbenen Schluffstein-Bröckchen
6	10	eICv LB p-zeu(^k-z+M,r)	14	2,5 Y 5/4	(h)	c5	Lu	eICv aus Residualschutt schluffmergel-Fließerde mit Kalkstein: hell olivfarbener, schluffiger Lehm, stark grusig, stellenweise humos, sehr carbonatreich, Subpolyedergefüge, schwach durchwurzelt; Skelett geregelt, schwimmt, mit mehligter Kruste

Bemerkungen: Humus und lithogener Kohlenstoff, durch Bitumen im Kupferschiefer, geschätzt.; Carbonatgehalt in den Horizonten 1-5 durch fehlenden Dolomitanteil etwas zu niedrig.; (h) – stellenweise humos; h2.1: 1-<1,5 M% Humus; h2.2: 1,5-<2 M% Humus; h3.2: 2,5-<4 M% Humus; h4: 4-<8 M% Humus; h6: 15-<30 M% Humus; h7.1: 30-<70 M% Humus; Humusangaben ohne h... – Feldschätzung; Kalkangaben ohne c... - Feldschätzung; Sp.- Spuren, < 0,1 M%; → - Unterschicht/-horizont; ^mbl, bi: bituminöser Schiefermergel/"Kupferschiefer"; Thg: Hangton; Lhg: Hanglehm; T: Ton, Substrat einer früheren Fließerde; M,r: Residualmergel

## Profilkennzeichnung

<b>Bodenformensymbol:</b>	euRQ/SS-LL: oj-(z)xt(^k+^mbl,bi)/o-(z)t(^u-ro+Thg)///p-zeu(^k-z+M,r)
<b>Bodenform:</b>	eutropher Regosol über Pseudogley-Parabraunerde aus Kipp-Ton aus Kupferschiefer über Ton-Auffülle aus Hangton mit Schluffstein über sehr tiefer Residualschuttmergel-Fließerde mit Kalkstein des Zechsteins
<b>sonst. Profilkennz.:</b>	nach Forstlicher Standortskarte: Soa-6h (Sonderstandort)
<b>Anmerkungen:</b>	mittelalterliche Halden und Pingen des Kupferschieferbergbaus
<b>Bodenwasser:</b>	Der Standort ist stellenweise stauwasserbeeinflusst.

## Physikalische und chemische Analysen

Horizont-nr.	Tiefe dm	Skelett Mas-%	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)						
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T
1	1,0	5	7	8	6	12	19	11	37
2	3,5	6	6	7	5	13	19	12	38
3	2,5	16	8	6	6	14	16	13	38
4	3,5	3	10	9	8	13	18	13	30
5	6,5	12	6	4	5	19	20	11	36
6	9,0	12	7	4	4	15	17	13	46
7	10,5	0	2	3	5	14	19	12	33
8	10,5	1	10	8	4	15	19	10	37
9	12,0	0	9	7	4	13	16	12	38
10	14,0	0	10	8	7	16	21	19	20

Horizont-nr.	Carbonat Mas-%	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	C <sub>org</sub> Mas-%	Humus Mas-%	C <sub>lc</sub> Mas-%	N <sub>t</sub> Mas-%	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>
0	0,2	6,1	5,6	26,8	53,7		1,56	17
1	0,2	6,2	5,2	3,5	6,0	3,3	0,33	11
2	0,6	7,1	6,6	13,5	26,9		0,73	18
3	1,3	7,5	6,7	1,0	1,7	1,4	0,15	7
4	0,4	7,2	6,4	1,0	1,7	6,9	0,36	3
5	0,1	6,2	5,4	1,7	2,9		0,14	12
6	0,0	5,7	4,7	0,5	0,8		0,06	8
7	0,1	5,9	5,0	0,8	1,4	1,0	0,12	6
8	0,0	5,9	5,0	0,8	1,3		0,08	10
9	0,0	5,9	5,0	0,8	1,4		0,08	10
10	46,0	8,2	7,1	0,2	0,3		0,05	8

Bemerkungen: Die Unterscheidung von organischem Kohlenstoff (C<sub>org</sub>) und lithogenem Kohlenstoff (C<sub>lc</sub>) wurde aus dem Vergleich der C<sub>org</sub>-Gehalte der Horizonte abgeleitet.

Horizont-nr.	As	B	Ba	Cd	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Tl	U	V	Zn
	in mg/kg												
0	66			3,8	66	1650		58	4970	2,9	5,1	302	588
1	230			6,1	171	7640		144	11200	6,3	16,0	1010	988
2	156			5,9	125	4380		108	8620	5,3	12,3	761	887
3	109			3,7	139	3860		104	6030	4,4	6,3	427	770
4	294			8,4	160	13300		178	14800	6,3	21,6	1400	1170
5	39			3,6	77	662		71	2100	3,1	2,1	140	587
6	34			3,7	48	537		77	1730	4,2	2,1	128	611
7	72			3,1	296	1010		140	10000	8,7	6,2	554	1370
8	47			1,7	72	473		97	7320	6,8	3,7	221	1240
9	40			5,8	47	438		111	6840	5,5	2,6	184	1250
10	19			4,3	23	194		54	2630	2,9	2,2	99	730

# Exkursionspunkt 1 - Profil KA 037a

## Standortsituation

<b>Bearbeiter:</b> Kainz, Dr. Helbig	<b>TK25:</b> 4433 Wippra	<b>Datum:</b> 15.11.2022
<b>Lage:</b> Gipskarstlandschaft des südlichen Harzvorlandes, Zechstein-Ausstrich; Das Profil liegt auf dem Bergbaulehrpfad nordwestlich des Röhrigschachtes bei Wettelrode im Kämker Revier.		
<b>RW:</b> 4449939	<b>HW:</b> 5709785	342 m NN
<b>Nutzung:</b> Forst	<b>Vegetation:</b> Dornfarn-Buschwindröschen-Traubeneichen-Buchenwald mit einzelnen Hainbuchen, Bergahorn und Linden	
<b>Humusform:</b> F-Mull bis Moder	<b>Relief:</b> welliges Plateau; randlich auf einem Flachhang mit welliger Oberfläche, Hangneigung 0,5° - 1°, S-exponiert	

## Profilbeschreibung

Schichtnummer	Horizont-Nummer	Horizont Stratigraphie/Lagen Substrat	Untergrenze in dm	Farbe	Humus*	Kalk*	Feinboden*	Horizontbeschreibung
0	0	Of qhhn MO	0	10 YR 2/1	7	0		Oh aus Moder: schwarzer Humus, skelettfrei, organisch, carbonatfrei, Krümelgefüge
1	1	Ah qhhm oj-u(^mbl,bi+Los)	1	10 YR 2/1	4	0	Uls	Ah aus Kipp-Sandlöss: schwarzer, sandig-lehmiger Schluff, schwach grusführend, stark humos, carbonatfrei, Krümelgefüge, stark durchwurzelt
	2	jelCv qhhm oj-zel(^d-z+L)	2,5	7,5 YR 4/3	3	3	Ls3	elCv aus Kipp-Schuttlehm mit Dolomit: brauner, mäßig sandiger Lehm, stark grusig, mäßig humos, carbonathaltig, Subpolyedergefüge bis Krümelgefüge, stark durchwurzelt; mit Holzkohle, lokal mit Kupferschiefer; unten erosiv
2	3	Bv ? LH oder qhhm p-zu(^s-z+Los)	6,2	5 YR 4/6; rötlich	(1)	0	Uls	Bv aus Schuttsandlöss mit Sandstein: gelblich roter, sandig-lehmiger Schluff, mäßig grusig, stellenweise humos, carbonatfrei, Subpolyedergefüge, mäßig durchwurzelt; Grobboden schwimmt, dolomitischer, limonitisierter Sandstein (Sanderz); unten Taschen
3	4	ilCv LB p-kl(^d-z+^c-ro)	8	2,5 YR 4/3; deutlich rot	(1)	(2)	Ts3	ilCv aus Kiestonlehm-Fließerde aus Konglomerat und Dolomit: rötlich brauner, mäßig sandiger Ton, mäßig kiesig, stellenweise humos, stellenweise carbonathaltig, Subpolyedergefüge bis Polyedergefüge, kaum durchwurzelt; Grobboden aus Dolomit und (Gang)Quarz; auskeilend
4	5	oilCv LB p-(z)(^d-z+^mbl,bi,c)	8,5	10 YR 2,5/1; schwarz	(1)	0	Ts3	oilCv aus Tonlehm-Fließerde aus Kupferschieferersatz mit Dolomit: schwarzer, mäßig sandiger Ton, mäßig grusig, stellenweise humos, carbonatfrei, Subpolyedergefüge bis Polyedergefüge, Plattengefüge, nicht durchwurzelt; auskeilend
5	6	ilCv AZ c-(z)t(^c-ro)	10	2,5 YR 3/4	(1)	0	Tu2	ilCv aus Zersatzton aus Konglomerat: dunkel rötlich brauner, schwach schluffiger Ton, schwach grusig, stellenweise humos, carbonatfrei, Polyedergefüge, Plattengefüge, kaum durchwurzelt; Grobboden enthält tonig zersetzte gut gerundete Klatten („roES: „Porphykonglomerat“)

Bemerkungen: Humus und lithogener Kohlenstoff, durch Bitumen im Kupferschiefer, geschätzt.; (...) – stellenweise; Humus\*, Kalk\* und Feinboden\* sind Feldschätzung; ^mbl, bi, c: bituminöser Schiefermergel/„Kupferschiefer“; L: Lehm; AZ – Auflockerungs- und Zersatzzone

## Profilkennzeichnung

<b>Bodenformensymbol:</b>	RZ\BB: oj-zel(^d-z+L)\p-zu(^s-z+Los)/c-(z)t(^c-ro)
<b>Bodenform:</b>	flache Paraenzina aus Kipp-Schuttlehm mit Dolomit über Braunerde aus Schuttsandlöss mit Sandstein über Zersatzton aus Konglomerat
<b>sonst. Profilkennz.:</b>	nach Forstlicher Standortskarte: Soa-6h (Sonderstandort); Übergänge zu Go.Ts (Gorenzener Schiefer-ton Braunerde)
<b>Anmerkungen:</b>	mittelalterliche Halden und Pingens des Kupferschieferbergbaus
<b>Bodenwasser:</b>	Der Standort ist sicherwasserabhängig, mäßig durchlässig und gut speicherfähig.

## RFA-Analysen ausgewählter Spurenelemente aus hinterer Eingrabung im Schurf

Probe-nummer	As	Cd	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Tl	U	V	Zn
	in mg/kg										
1	280	<0,2	112	24520	268	199	3086	8,2	32,7	1943	964
2	278	1,1	329	7941	113	147	5725	<2	11,3	875	1007



## Exkursionspunkt 2 - Profil Helbra 01 (Aufnahme 1993)

### Standortsituation

<b>Bearbeiter:</b> Kainz, Knauf, Schröder	<b>TK25:</b> 4435 Eisleben	<b>Datum:</b> 24.08.1993
<b>Lage:</b> Pollebener, Gerbstedter und Lettewitzer Löss-Plateaus; Das Profil liegt südöstlich von Helbra, südöstlich der Halde des Ernst-Schachtes.		
<b>RW:</b> 4465424	<b>HW:</b> 5711900	234 m NN
<b>Nutzung:</b> Forst	<b>Vegetation:</b> Pflanzung aus Winterlinde, Esche, Zuckerahorn, Bergahorn, Traubeneiche	
<b>Humusform:</b> ohne	<b>Relief:</b> welliges Plateau: im oberen Bereich in einer flachen breiten Rinne mit glatter Oberfläche, Höhe: 234 m über NN; Hangneigung 0,5° - 1°, E-exponiert	

### Profilbeschreibung

Schichtnummer	Horizontnummer	Horizont Stratigraphie/Lagen Substrat	Untergrenze in dm	Farbe	Humus	Kalk	Feinboden	Horizontbeschreibung
0	0	Oh qhhn GMO	0	nb	h7	c0	00	Oh aus Graswurzelfilz-Moder: carbonatfrei, mit Wurzelfilz
1	1	rAp <sup>o</sup> Axh qh u-t(Lo)	3	5 YR 3/4	h3.2	c0	Tu4	rAp <sup>o</sup> Axh aus Abschlammflöss: dunkel rötlich brauner, stark schluffiger Ton, sehr schwach steinig, mäßig humos, carbonatfrei, Bröckelgefüge bis Polyedergefüge, stark durchwurzelt; mit Schlacke; unten erosiv mit Rinnen und Brocken
2	2	Bht-Axh LH p-t(Lo)	5	10 YR 3/4	h2.2	c0	Tu4	Bht-Axh aus Löss: dunkel brauner, stark schluffiger Ton, skelettfrei, schwach humos, carbonatfrei, Subpolyedergefüge, mäßig durchwurzelt; unten bioturbat
	3	Bht LH p-t(Lo)	6,5	10 YR 4/4	h2.2	c0	Tu4	Bht aus Löss: dunkel gelblich brauner, stark schluffiger Ton, skelettfrei, schwach humos, carbonatfrei, Polyedergefüge, mäßig durchwurzelt; unten einzelne Kiese und bioturbat
3	4	Bht+Bv-Sw LM p-t(Lo)	8	7,5 YR 5/4	(h)	Sp.	Tu4	Bht+Bv-Sw aus Löss-Fließerde: graubrauner, stark schluffiger Ton, skelettfrei, stellenweise humos, in Spuren carbonathaltig, Polyeder- und Plattengefüge, mäßig durchwurzelt; unten mit schwacher Kiessohle und kryoturbierten Taschen und Fahnen
4	5	eScw+eScd LB p-et(^u-su)	12	2,5 YR 4/4	(h)	c4	Ut4	eScw+eScd aus Tonschluff-Fließerde aus Schluffstein: rötlich brauner, stark toniger Schluff, sehr schwach steinig, stellenweise humos, carbonatreich, Plattengefüge, kaum durchwurzelt; mit sehr stark zersetztem Grobboden

Bemerkungen: Sp.: Spuren; nb: nicht bestimmt; (h): stellenweise humos; h1.2: 0,6-<1 M% Humus; h2.1: 1-<1,5 M% Humus; h2.2: 1,5-<2 M% Humus; h3.2: 2,5-<4 M% Humus

### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformensymbol:</b>	LL-SS-TT: p-t(Lo)//p-eu(^u-su)
<b>Bodenform:</b>	Parabraunerde-Pseudogley-Tschernosem aus Löss über tiefer kalkhaltiger Tonschluff-Fließerde aus Schluffstein des Unteren Buntsandsteins
<b>sonst. Profilkennz.:</b>	nach Bodenschätzung L 3 Löv 68/67
<b>Anmerkungen:</b>	Krume vertieft, Immission, Ackeraufforstung
<b>Bodenwasser:</b>	Der Standort ist stauwasserbeeinflusst und sehr schwach vernässt.

### Physikalische und chemische Analysen

Horizontnr.	Tiefe dm	Skelett Mas-%	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)						
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T
1	3	0,3	0	1	2	41	21	9	26
2	5	0	0	0	1	40	20	9	30
3	6,5	0	0	0	1	40	20	9	30
4	8	0	0	0	1	43	15	11	30
5	12	0,3	1	1	2	44	22	10	20

Horizontnr.	Carbonat Mas-%	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	potentiell austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )					BS %
				Na	K	Mg	Ca	H-Wert	
1	0	5,4	5,4	0,3	0,4	0,5	4,6	4,2	58
2	0	6,4	6,4	0	0,2	1,7	5,8	3,3	70
3	0	6,4	6,4	0	0,2	1,7	5,8	3,3	70
4	Sp.	7,3	7,2	0,1	0,3	3,6	11,3	0,7	96
5	10,7	7,7	7,7	0,2	0,1	1,4	10,4	0	100

Horizont-nr.	KAK <sub>p</sub> cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup>	C <sub>org</sub> Mas-%	Humus Mas-%	N <sub>t</sub> Mas-%	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>
1	10	2,1	3,6	0,18	12
2	11	1,0	1,7	0,13	8
3	11	1,0	1,7	0,13	8
4	16	0,4	0,7	0,04	10
5	12	0,2	0,3	0,06	3

Horizont-nr.	As	B	Ba	Cd	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Tl	U	V	Zn
	in mg/kg												
1	27	25	200	2,1	12	221	3,2	24	237	0,9	2,3	56	317
2	12	21	186	0,1	11	29	0,9	25	21	0,4	1,4	49	52
3	12	21	186	0,1	11	29	0,9	25	21	0,4	1,4	49	52
4	13	28	213	0,1	10	33	0,8	24	20	0,4	1,3	61	49
5	10	24	132	0,1	9	23	1,1	22	17	0,3	1,4	46	36

In den Gehalten der Spurenelemente hat sich folgendes Bild ergeben:

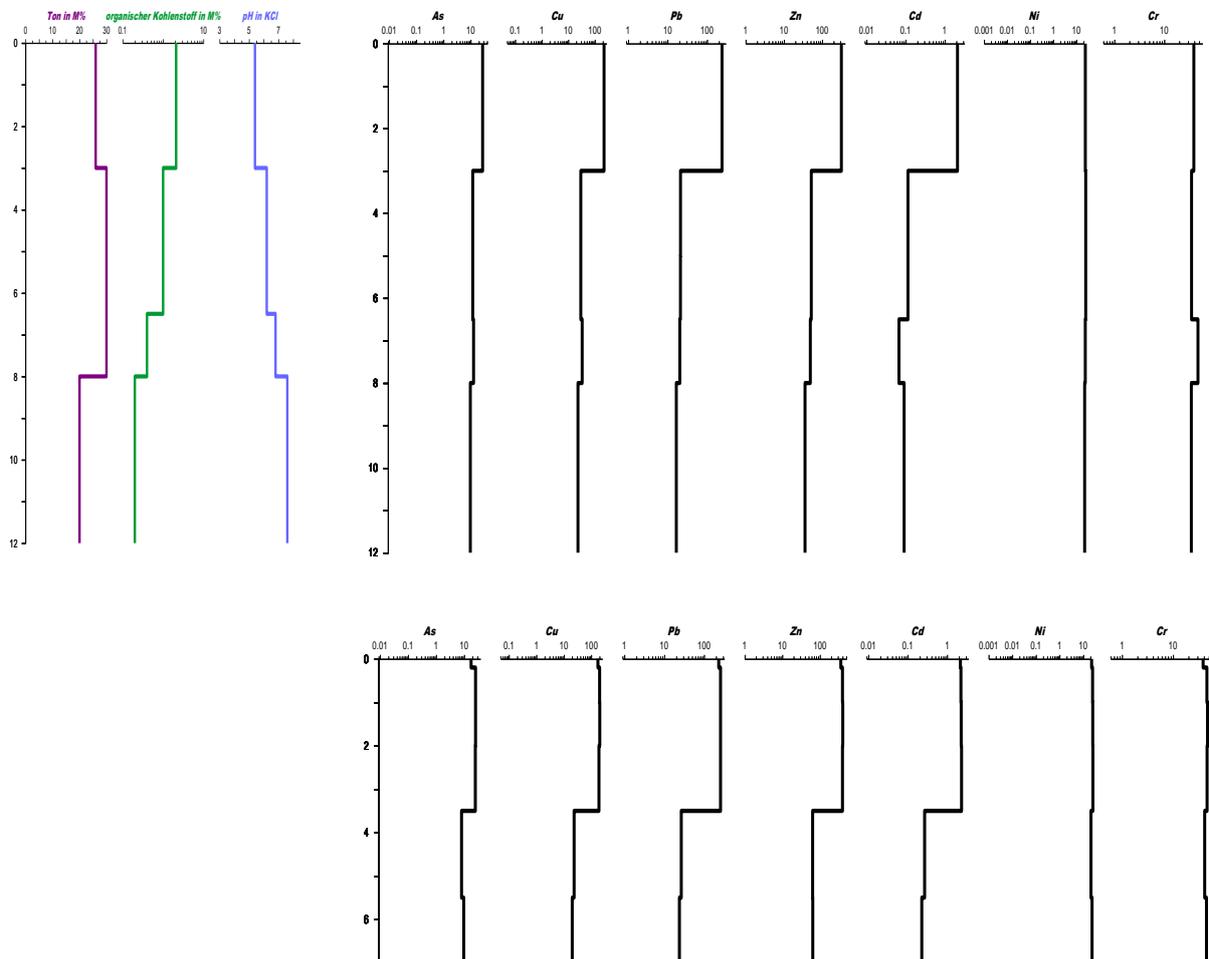


Abb. 23: Tiefenverläufe der Retentionsparameter für Spurenelemente und ausgewählte Spurenelementgehalte in mg/kg in Profil Helbra 01 - 1993 (oben) und Helbra 01a - 2022 (unten). Deutlich ist die Bodenbelastung des Oberbodens durch As, Cu, Pb, Zn und Cd. Kaum sichtbar, aber dennoch deutlich sind die Gehaltsabnahmen in den obersten Zentimetern der neuen Beprobung.

## Exkursionspunkt 2 - Profil Helbra 01a (Aufnahme 2022)

### Vergleichsprofil zu Helbra 01 (Aufnahme 1993)

#### Standortsituation

<b>Bearbeiter:</b> Kainz, Dr. Helbig	<b>TK25:</b> 4435 Eisleben	<b>Datum:</b> 11.05.2022
<b>Lage:</b> Pollebener, Gerbstedter und Lettewitzer Löss-Plateaus; Das Profil liegt südöstlich von Helbra, südöstlich der Halde des Ernst-Schachtes.		
<b>RW:</b> 4465430	<b>HW:</b> 5711867	234 m NN
<b>Nutzung:</b> Forst	<b>Vegetation:</b> Traubeneichen-Linden-Ahorn-Jungwuchs mit Frauenfarn	
<b>Humusform:</b> Mull	<b>Relief:</b> welliges Plateau, Tal; in einem sehr flachen Muldental, auf einem Flachhang mit welliger Oberfläche, randlich; Hangneigung 0,5° - 1°, NW-exponiert	

#### Profilbeschreibung

Schichtnummer	Horizontnummer	Horizont Stratigraphie/Lagen Substrat	Untergrenze in dm	Farbe	Humus	Kalk	Feinboden*	Horizontbeschreibung
1	1	Ah qh u-u(Lo)	0,2	7,5 YR 2,5/2	h5	c0	Ut4	Ah aus Abschlämmloß: sehr dunkel brauner, stark toniger Schluff, skelettfrei, sehr stark humos, carbonatfrei, Krümelgefüge, stark durchwurzelt; mit Pflanzenresten; unten Wurzelkeile, Gefüge- und Farbgenze
	2	rAp°Axb qh u-u(Lo)	1	7,5 YR 3/3	h3.2	c0	Ut4	rAp°Axb aus Abschlämmloß: dunkel brauner, stark toniger Schluff, sehr schwach grusig, mäßig humos, carbonatfrei, Bröckelgefüge bis Polyedergefüge, mäßig durchwurzelt; mit Regenwurmröhren, Ziegelstückchen und Schlacke; unten Gefügegenze
	3	rAp°Axb qh u-u(Lo)	2	7,5 YR 3/3	h3.2	c0	Ut4	rAp°Axb aus Abschlämmloß: dunkel brauner, stark toniger Schluff, sehr schwach grusig, mäßig humos, carbonatfrei, Feinpolyedergefüge, mäßig durchwurzelt; mit Ziegelstückchen und Schlacke; unten Gefügegenze und einzelne Gruse
	4	Sw-Axb qh u-u(Lo)	3,5	7,5 YR 3/3	h3.2	c0	Ut4	Sw-Axb aus Abschlämmloß: dunkel brauner, stark toniger Schluff, sehr schwach grusig, mäßig humos, carbonatfrei, Subpolyedergefüge bis Plattengefüge, mäßig durchwurzelt; mit ?Gips-Ausblühungen, Ziegelstückchen und Schlacke; unten Farbgenze und erosiv
	5	Al-Sw-Axb qh u-u(Lo)	5,5	5 YR 4/4; braun	h2.1	c0	Ut3	Al-Sw-Axb aus Abschlämmloß: rötlich brauner, mäßig toniger Schluff, skelettfrei, schwach humos, carbonatfrei, Subpolyedergefüge bis Plattengefüge, schwach durchwurzelt; mit humusgefüllten Röhren von Regenwürmern und Wurzeln, Krotowinen, Bleichflecken; unten Rinnen bis 7 dm und Gefügegenze
2	6	fAp°Axb-Sw LH p-u(Lo)	7	7,5 YR 3/2; grau	h2.1	c0	Ut4	fAp°Axb-Sw aus Löss: dunkel brauner, stark toniger Schluff, skelettfrei, schwach humos, carbonatfrei, Subpolyedergefüge bis Krümelgefüge, schwach durchwurzelt; mit Regenwurmröhren, Ton-Humus-Tapeten, oben mit Ziegelbröckchen, am 11. 05.2022 wasserführend; unten erosive Farb- und Gefügegenze
	7	Axb-Bht-Sd LH p-t(Lo)	9	10 YR 3/2; schwarz	3	0	Tu4	Axb-Bht-Sd aus Löss: bräunlich schwarzer, stark schluffiger Ton, skelettfrei, mäßig humos, carbonatfrei, Polyedergefüge, schwach durchwurzelt; mit Ton-Humus-Tapeten; unten erosiv und Farbgenze
3	8	fBv°elCc LM f-eu(Lou)	12	10 YR 5/6; gelbbraun	(1)	4	Ut4	elCc aus Schwemmlöss: gelblich brauner, stark toniger Schluff, skelettfrei, stellenweise humos, carbonatreich, Plattengefüge, kaum durchwurzelt; mit Regenwurmröhren, mit Kalk-Pseudomycel und -konkretionen

Bemerkungen: (h): stellenweise humos; h1.2: 0,6-<1 M% Humus; h2.1: 1-<1,5 M% Humus; h2.2: 1,5-<2 M% Humus; h3.2: 2,5-<4 M% Humus; h5: 25-<50 M%; Humusangaben ohne h... - Feldschätzung; Kalkangaben ohne c... - Feldschätzung; Feinboden\* - Feldschätzung; Horizont 2 bis 5: Axb, weil Eigenschaften dominant gegenüber Umlagerungsprozess

#### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformensymbol:</b>	LL-SS-TT: u-u(Lo)/p-t(Lo)//f-eu(Lou)
<b>Bodenform:</b>	Parabraunerde-Pseudogley-Tschernosem aus Abschlämmloß über Löss über tiefem Schwemmlöss
<b>sonst. Profilkennz.:</b>	nach Bodenschätzung L 3 LÖV 68/67; nach Forst Sp.LL (Sprötauer Löss-Griserde)
<b>Anmerkungen:</b>	Krume vertieft, bis 1990 Immission, 1993 Ackeraufforstung
<b>Bodenwasser:</b>	Der Standort ist stauwasserbeeinflusst.

## Chemische Analysen

Horizont-nr.	Tiefe dm	Carbonat Mas-%	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	C <sub>org</sub> Mas-%	Humus Mas-%	N <sub>t</sub> Mas-%	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>
1	0,2	0	6,3	5,8	5,0	8,6	0,36	14
2	1	0	6,5	5,8	1,9	3,2	0,18	10
3	2	0	6,6	6,0	1,8	3,2	0,17	11
4	3,5	0	6,8	6,3	1,7	2,9	0,16	10
5	5,5	0	7,1	6,6	0,7	1,2	0,09	8
6	7	0	7,2	6,8	0,7	1,2	0,08	9

Horizont-nr.	As	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Tl	U	V	Zn
	in mg/kg									
1	18	2,2	10	173	22	232	0,7	2,3	54	357
2	25	2,2	11	200	25	258	0,9	2,5	64	395
3	25	2,3	11	203	25	258	0,9	2,7	63	403
4	25	2,3	12	189	25	258	0,9	2,5	64	395
5	8	0,3	9	24	21	27	0,4	1,6	53	64
6	10	0,2	9	20	23	24	0,4	1,6	56	64

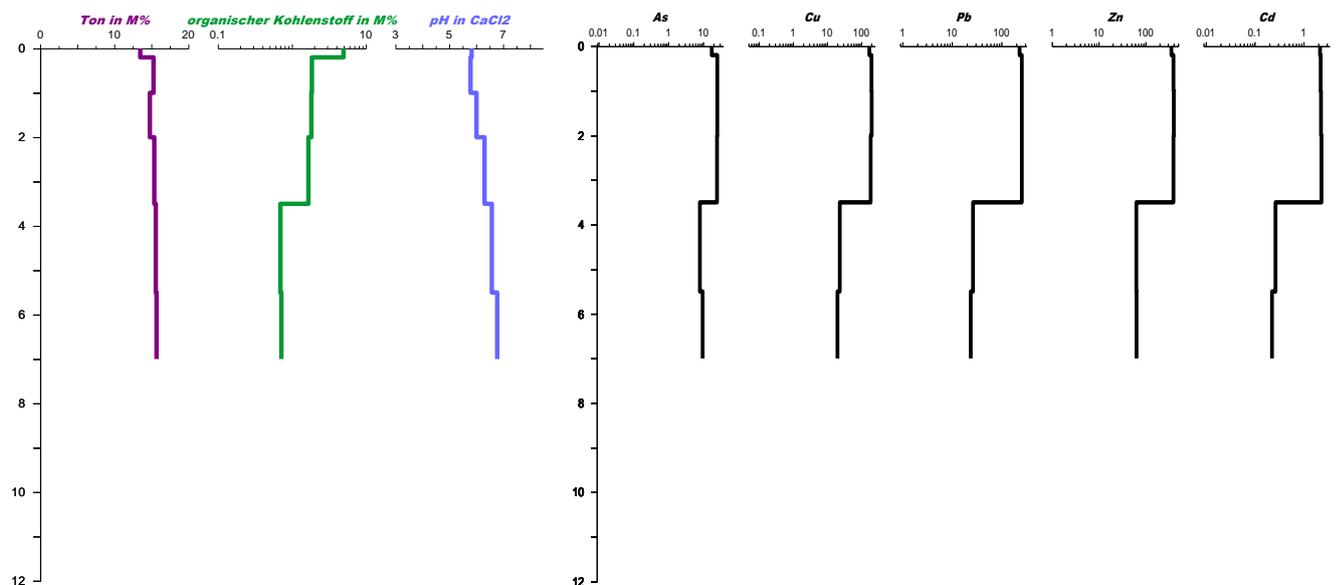


Abb. 24: Tiefenverläufe der Retentionsparameter für Spurenelemente und ausgewählte Spurenelementgehalte in mg/kg in Profil Helbra 01a (Aufnahme 2022). Deutlich ist die Bodenbelastung des Oberbodens durch As, Cu, Pb, Zn und Cd. Kaum sichtbar, aber dennoch deutlich sind die Gehaltsabnahmen in den obersten Zentimetern der neuen Beprobung 2022 im Vergleich zu 1993 (vgl. S. 60) (Die Tonbestimmung erfolgte mittels Partikelanalysator.)

## Exkursionspunkt 2 - Profil Helbra 02 (Aufnahme 1993)

### Standortsituation

<b>Bearbeiter:</b> Kainz, Knauf, Schröder	<b>TK25:</b> 4435 Eisleben	<b>Datum:</b> 24.08.1993
<b>Lage:</b> Pollebener, Gerbstedter und Lettewitzer Löss-Plateaus; Das Profil liegt südöstlich von Helbra, am Rande einer Gartenanlage.		
<b>RW:</b> 4465875	<b>HW:</b> 5712400	236 m NN
<b>Nutzung:</b> Acker	<b>Vegetation:</b> Gerste	
<b>Humusform:</b> ohne	<b>Relief:</b> welliges Plateau: im oberen Bereich in einer flachen breiten Rinne mit glatter Oberfläche, Höhe: 236 m über NN; Hangneigung 0,5° - 1°, E-exponiert	

### Profilbeschreibung

Schichtnummer	Horizontnummer	Horizont Stratigraphie/Lagen Substrat	Untergrenze in dm	Farbe	Humus	Kalk	Feinboden	Horizontbeschreibung
1	1	eAxp qh u-eu(Lo)	3	10 YR 3/3	h4	c3	Ut4	eAxp aus Abschlammloess: dunkel brauner, stark toniger Schluff, sehr schwach grusig, stark humos, carbonathaltig, Bröckelgefüge, stark durchwurzelt; mit Schlacke und Kupferschiefer-Grus
	2	Al-eAxp qh u-eu(Lo)	4,5	10 YR 4/3	h2.1	c3	Ut3	Al-eAxp aus Abschlammloess: brauner, mäßig toniger Schluff, sehr schwach grusig, schwach humos, carbonathaltig, Platten und Schichtgefüge, mäßig durchwurzelt; humose Flecken und Streifen, Kieselpuder auf Aggregaten; mit Kalk des Zechsteins; unten erosiv mit Rinnen und einzelnen Grusen
2	3	Bht-Axp LH p-t(Lo)	9	10 YR 2/2	h2.2	c1	Tu4	Bht-Axp aus Löss: schwarzer, stark schluffiger Ton, skelettfrei, schwach humos, sehr carbonatarm, Subpolyedergefüge, mäßig durchwurzelt
	4	Bht LH p-t(Lo)	11	10 YR 4/4	h1.2	c2	Tu4	Bht aus Löss: dunkel gelblich brauner, stark schluffiger Ton, skelettfrei, sehr schwach humos, carbonatarm, Subpolyedergefüge bis Polyedergefüge, schwach durchwurzelt; Regenwurmröhren mit Humustapeten
3	5	fBv <sup>e</sup> lCc LM p-eu(Lo)	14	10 YR 5/6	(h)	c3	Ut3	fBv <sup>e</sup> lCc aus Löss: gelblich brauner, mäßig toniger Schluff, skelettfrei, stellenweise humos, carbonathaltig, Subpolyedergefüge, kaum durchwurzelt; Regenwurmröhren mit Humustapeten

Bemerkungen: (h): stellenweise humos; h1.2: 0,6-<1 M% Humus; h2.1: 1-<1,5 M% Humus; h2.2: 1,5-<2 M% Humus; Horizont 1 bis 3: Axp, weil Eigenschaft dominant gegenüber Umlagerungsprozess; Abschlammloess: ungeschichtet; Schwemmlöss: fein horizontal bis flach schräg geschichtet

### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformensymbol:</b>	LL-TT: u-eu(Lo)/p-t(Lo)//p-eu(Lo)
<b>Bodenform:</b>	Parabraunerde-Tschernosem aus Abschlammloess über Löss
<b>sonst. Profilkennz.:</b>	nach Bodenschätzung L 2 L6 87/87
<b>Anmerkungen:</b>	Krume vertieft, Immission, gekalkt
<b>Bodenwasser:</b>	Der Standort ist sickerwasserabhängig, mäßig durchlässig und gut speicherfähig.

### Physikalische und chemische Analysen

Horizontnr.	Tiefe dm	Skelett Mas-%	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)						
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T
1	3	0,8	1	2	2	49	22	7	17
2	4,5	0,8	1	1	2	51	21	8	16
3	9	0	0	0	1	41	24	8	26
4	11	0	0	0	1	45	23	6	25
5	14	0	0	0	1	54	32	1	12

Horizontnr.	Carbonat Mas-%	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	potentiell austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )					BS %
				Na	K	Mg	Ca	H-Wert	
1	2,3	7,2	6,9	0	1	1,6	4,8	1	87,5
2	2,5	7,8	7,9	0	0,5	1,4	10,3	0	100
3	0,4	7,6	7,2	0,3	0,4	3,1	15,2	0	100
4	0,7	7,7	7,5	0,5	0,2	1,1	15,3	0	100
5	9,8	8	7,7	0,4	0,1	2,9	4,9	0	100

Horizont-nr.	KAK <sub>p</sub> cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup>	KAK <sub>eff</sub> cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup>	C <sub>org</sub> Mas-%	Humus Mas-%	C <sub>ic</sub> Mas-%	N <sub>t</sub> Mas-%	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>
1	8		2,7	4,7		0,15	18
2	12		0,7	1,2		0,08	9
3	19		1,1	1,9		0,08	14
4	17		0,5	0,9		0,04	13
5	8		0,2	0,3			

Horizont-nr.	As	B	Ba	Cd	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Tl	U	V	Zn
	in mg/kg												
1	29	25	195	3,3	10	242	3,8	21	346	0,9	2,6	56	548
2	9	20	153	0,2	8	64	1,9	16	38	0,3	1,5	42	65
3	10	24	199	0,1	10	27	1,0	21	22	0,4	1,6	51	50
4	11	22	159	0,1	9	19	0,9	21	19	0,4	1,4	52	42
5	9	22	99	0,1	8	23	1,2	15	13	0,2	1,3	36	32

In den Gehalten der Spurenelemente von Profil 02 hat sich folgendes Bild ergeben:

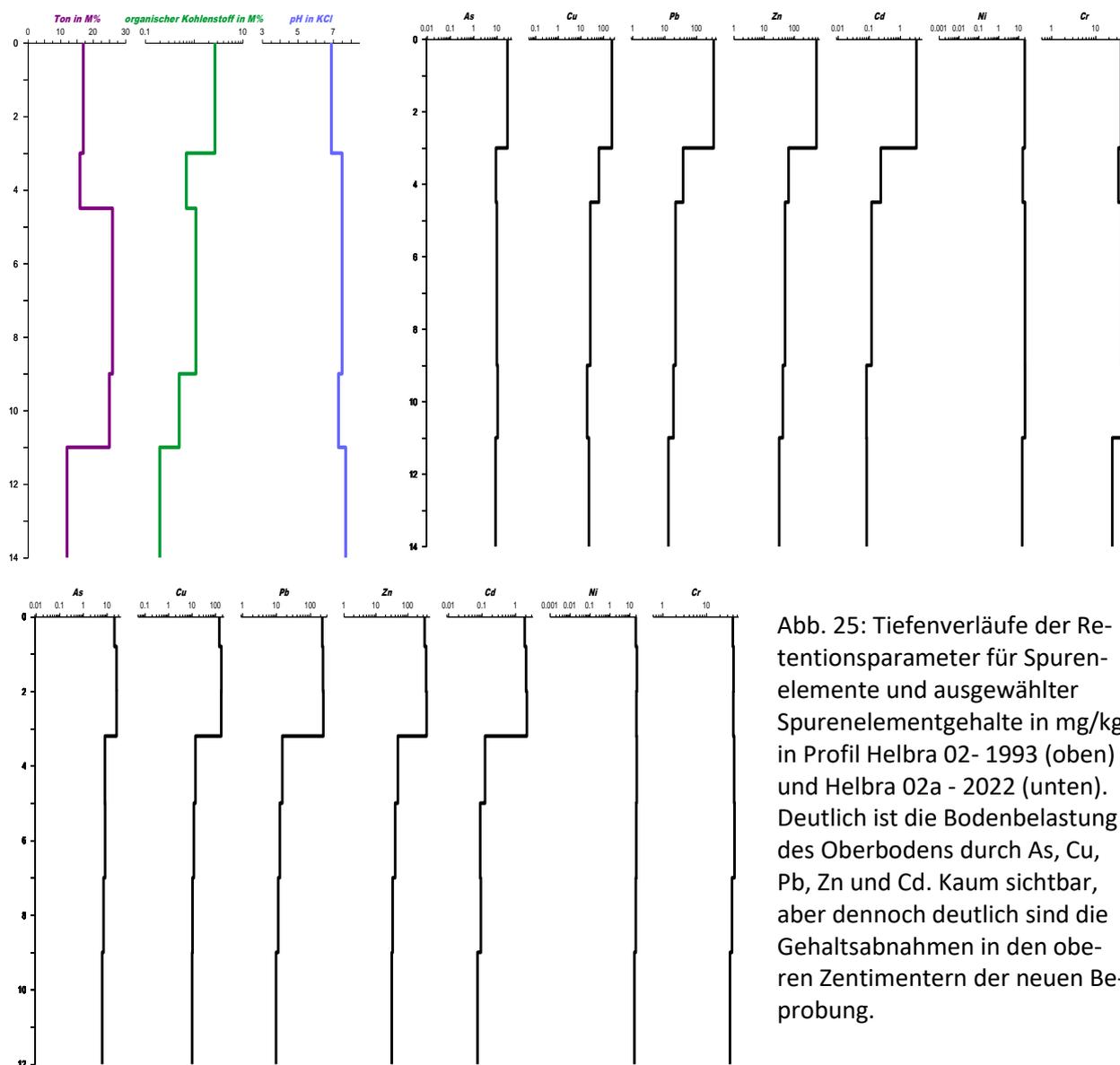


Abb. 25: Tiefenverläufe der Retentionsparameter für Spurenelemente und ausgewählter Spurenelementgehalte in mg/kg in Profil Helbra 02- 1993 (oben) und Helbra 02a - 2022 (unten). Deutlich ist die Bodenbelastung des Oberbodens durch As, Cu, Pb, Zn und Cd. Kaum sichtbar, aber dennoch deutlich sind die Gehaltsabnahmen in den oberen Zentimetern der neuen Beprobung.

## Exkursionspunkt 2 - Profil Helbra 02a (Aufnahme 2022)

### Vergleichsprofil zu Helbra 02 (Aufnahme 1993)

#### Standortsituation

<b>Bearbeiter:</b> Kainz, Dr. Helbig	<b>TK25:</b> 4435 Eisleben	<b>Datum:</b> 10.05.2022
<b>Lage:</b> Pollebener, Gerbstedter und Lettewitzer Löss-Plateaus; Das Profil liegt südöstlich von Helbra, am Rande einer ehemaligen Gartenanlage.		
<b>RW:</b> 4465871	<b>HW:</b> 5712398	236 m NN
<b>Nutzung:</b> Forst	<b>Vegetation:</b> Ahorn-Linden-HainbuchenJungwuchs mit Traubeneichen und mit Riesenschwingel	
<b>Humusform:</b> Mull	<b>Relief:</b> welliges Plateau; im oberen Bereich auf einem Flachhang mit glatter Oberfläche; Hangneigung < 0,5°, N-exponiert	

#### Profilbeschreibung

Schicht-nummr	Horizont-nummer	Horizont Stratigraphie/Lagen Substrat	Untergrenze in dm	Farbe	Humus	Kalk	Feinboden*	Horizontbeschreibung
1	1	Axh qh u-u(Lo)	0,8	10 YR 3/2	h4	c0	Ut3 -4	Axh aus Abschlämlöss: bräunlich schwarzer, mäßig bis stark toniger Schluff, skelettfrei, stark humos, carbonatfrei, Krümelgefüge, sehr stark durchwurzelt; mit Pflanzenresten; unten Wurzel- und Gefügegenze
	2	rAp°Al-Axh qh u-u(Lo)	2	10 YR 4/3	h3.2	c0	Ut3 -4	rAp°Al-Axh aus Abschlämlöss: brauner, mäßig bis stark toniger Schluff, sehr schwach grusig, mäßig humos, carbonatfrei, Sub- und Polyedergefüge, stark durchwurzelt; mit Ziegelstückchen; unten Gefügegenze
	3	rAp°Al-Axh qh u-u(Lo)	3,2	10 YR 4/3	h3.2	c0	Ut3 -4	rAp°Al-Axh aus Abschlämlöss: brauner, mäßig bis stark toniger Schluff, sehr schwach grusig, mäßig humos, carbonatfrei, Polyedergefüge, mäßig durchwurzelt; unten mit Ziegelstückchen; unten erosiv und Farbgenze
2	4	Bht-Axh LH p-u(Lo)	5	7,5 YR 3/2	h2.1	c0	Ut4	Bht-Axh aus Löss: dunkel brauner, stark toniger Schluff, skelettfrei, schwach humos, carbonatfrei, Subpolyedergefüge bis Polyedergefüge, schwach durchwurzelt; mit Ton-Humus-Tapeten; untern bioturbat
	5	Bht LH p-t(Lo)	7	7,5 YR 4/4	h1.2	c0	Tu4	Bht aus Löss: brauner, stark schluffiger Ton, skelettfrei, sehr schwach humos, carbonatfrei, Polyedergefüge, schwach durchwurzelt; mit humusgefüllten Röhren von Regenwürmern und Wurzeln, mit Ton-Humus- und Ton-Tapeten
	6	Bt LH p-u(Lo)	9	7,5 YR 5/6	(h)	c1	Ut4	Bt aus Löss: satt brauner, stark toniger Schluff, skelettfrei, stellenweise humos, sehr carbonatarm, Polyedergefüge, kaum durchwurzelt; mit humusgefüllten Röhren von Regenwürmern und Wurzeln, Krotowinen, mit braunen Ton-Tapeten
3	7	fBv°elCc LM p-eu(Lo)	12	10 YR 5/6	(h)	c4	Ut3	fBv°elCc aus Löss-Fließerde: gelblich brauner, mäßig toniger Schluff, sehr schwach kiesig, stellenweise humos, carbonatreich, Plattengefüge, kaum durchwurzelt; mit Regenwurmröhren, mit Kalk-Pseudomycel; mit Fließgefüge

Bemerkungen: (h): stellenweise humos; h1.2: 0,6-1 M% Humus; h2.1: 1-1,5 M% Humus; h2.2: 1,5-2 M% Humus; h3.2: 2,5-4 M% Humus; h4: 4-8 M% Humus; Feinboden\* - Feldansprache

#### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformensymbol:</b>	LL-TT: u-u(Lo)/p-t(Lo)//p-eu(Lo)
<b>Bodenform:</b>	Parabraunerde-Tschernosem aus Abschlämlöss über Löss über tiefer Löss-Fließerde
<b>sonst. Profilkennz.:</b>	nach Bodenschätzung L 2 Lö 87/87; nach Forst Sp.LL (Sprötauer Löss-Griserde)
<b>Anmerkungen:</b>	Krume vertieft, bis 1990 Immission, 1993 Ackeraufforstung
<b>Bodenwasser:</b>	Der Standort ist sickerwasserabhängig, mäßig durchlässig und gut speicherfähig.

## Chemische Analysen

Horizont-nr.	Tiefe dm	Carbonat Mas-%	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	C <sub>org</sub> Mas-%	Humus Mas-%	C <sub>lc</sub> Mas-%	N <sub>t</sub> Mas-%	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>
1	0,8	0,0	5,8	5,2	3,4	5,8		0,27	12
2	2	0,0	6,3	5,6	1,8	3,2		0,16	11
3	3,2	0,0	6,7	6,0	1,7	2,9		0,15	11
4	5	0,0	7,1	6,4	0,8	1,4		0,09	9
5	7	0,0	7,3	6,6	0,4	0,7		0,05	8
6	9	0,2	7,9	7,2	0,2	0,4		0,03	8
7	12	10,2	8,4	7,5	0,4	0,7		0,02	20

Horizont-nr.	As	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Tl	U	V	Zn
	in mg/kg									
1	21	1,9	9	148	20	225	0,7	2,3	54	341
2	25	2,1	10	182	23	236	0,8	2,3	56	381
3	25	2,2	9	179	22	243	0,8	2,4	57	393
4	8	0,1	8	14	22	15	0,3	1,5	55	49
5	8	0,1	8	12	21	13	0,3	1,5	54	41
6	7	0,1	7	11	20	11	0,3	1,6	47	34
7	6	0,1	7	10	17	10	0,3	1,4	44	32

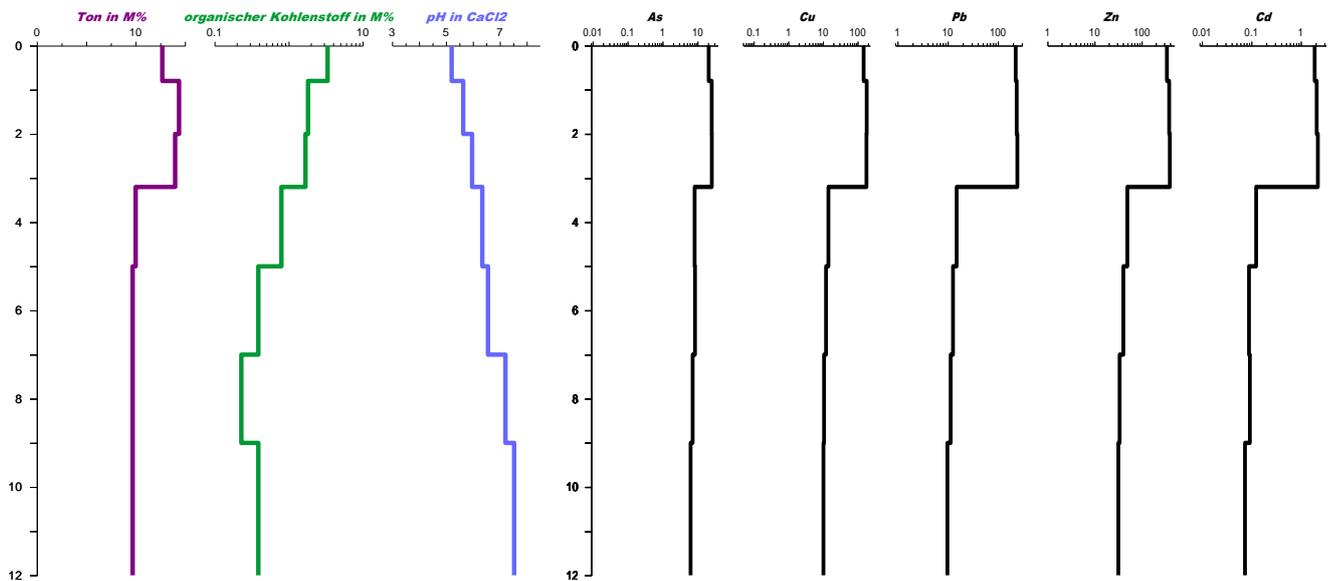


Abb. 26: Tiefenverläufe der Retentionsparameter für Spurenelemente und ausgewählter Spurenelementgehalte in mg/kg in Profil Helbra 02a (Aufnahme 2022). Deutlich ist die Bodenbelastung des Oberbodens durch As, Cu, Pb, Zn und Cd. Kaum sichtbar, aber dennoch deutlich sind die Gehaltsabnahmen in den oberen Zentimetern der neuen Beprobung 2022 im Vergleich zu 1993 (S. 64).

## Exkursionspunkt 3 - Profil BDF-Polleben

### Standortsituation

<b>Bearbeiter:</b> Weller	<b>TK25:</b> 4435 Eisleben	<b>Datum:</b> 30.08.1994
<b>Lage:</b> Pollebener, Gerbstedter und Lettewitzer Löss-Plateaus; Das Profil liegt nördlich von Volkstedt, östlich und nahe zu der Halde des Ernst-Thälmann-Schachtes.		
<b>RW:</b> 4470029	<b>HW:</b> 5716572	207 m NN
<b>Nutzung:</b> Acker	<b>Vegetation:</b> Weizen, Stoppeln	
<b>Humusform:</b> ohne	<b>Relief:</b> geneigtes Plateau, Rinne: randlich in einer flachen breiten Rinne mit glatter Oberfläche, Höhe: 207,4 m über NN; Hangneigung 0,5° - 1°, E-exponiert	

### Profilbeschreibung

Schichtnummer	Horizontnummer	Horizont Stratigraphie/Lagen Substrat	Untergrenze in dm	Farbe	Humus	Kalk	Feinboden	Horizontbeschreibung
1	1	Axp qh u-u(Lo)	2	2,5 YR 3/3	h3.2	c0	Ut3	Axp aus Abschlämlöss: dunkel rötlich brauner, mäßig toniger Schluff, skelettfrei, mäßig humos, carbonatfrei, Bröckelgefüge, mäßig durchwurzelt; Regenwurmröhren
	2	rAxp qh u-u(Lo)	3,5	10 YR 4/6	h3.1	c0	Ut3	rAxp aus Abschlämlöss: dunkel gelblich brauner, mäßig toniger Schluff, skelettfrei, mäßig humos, carbonatfrei, Subpolyedergefüge, schwach durchwurzelt; Regenwurmröhren; Pflugsohlenverdichtung
2	3	Bv-Axh LH p-u(Lo)	5	10 YR 4/4	h2.2	c0	Ut4	Bv-Axh aus Löss: dunkel gelblich brauner, stark toniger Schluff, skelettfrei, schwach humos, carbonatfrei, Subpolyedergefüge, mäßig durchwurzelt; Regenwurmröhren
	4	Bv+Axh LH p-u(Lo)	7	10 YR 4/4	h2.1	c0	Ut4	Bv+Axh aus Löss: dunkel gelblich brauner, stark toniger Schluff, skelettfrei, schwach humos, carbonatfrei, Subpolyeder- und Krümelgefüge, mäßig durchwurzelt; Regenwurmröhren mit Wurzeln; unten bioturbat
	5	Bv LH p-u(Lo)	9	10 YR 6/6	(h)	c1	Ut4	Bv aus Löss: bräunlich gelber, stark toniger Schluff, skelettfrei, stellenweise humos, sehr carbonatarm, Subpolyedergefüge, schwach durchwurzelt; Regenwurmröhren mit Humus und Wurzeln
3	6	eScg LM f-eu(Lou)	14	10 YR 7/4	(h)	c3	Ut3	eScg aus Schwemmlöss: sehr fahl brauner (gebleichter), mäßig toniger Schluff, skelettfrei, stellenweise humos, carbonathaltig, Subpolyedergefüge bis Plattengefüge, kaum durchwurzelt; Regenwurmröhren mit Humus und Wurzeln, mit vielen hellen Rostflecken, mit Kalkkonkretionen

Bemerkungen: (h): stellenweise humos; h2.1: 1-<1,5 M% Humus; h2.2: 1,5-<2 M% Humus.; h3.1: 2-<2,5 M% Humus; h3.2: 2,5-<4 M% Humus

### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformensymbol:</b>	s2.kBB-TT: u-u(Lo)/p-u(Lo)//f-eu(Lou)
<b>Bodenform:</b>	flach haftwasser- und kolluvial beeinflusster Braunerde-Tschernosem aus Abschlämlöss über Löss über tiefem Schwemmlöss
<b>sonst. Profilkennz.:</b>	nach Bodenschätzung: L 1 Lö 93/89; nach MMK: öW
<b>Anmerkungen:</b>	Krume vertieft, Immission
<b>Bodenwasser:</b>	Der Standort ist sickerwasserabhängig, gut durchlässig, gut speicherfähig und im Untergrund haftwasserbestimmt.

### Physikalische und chemische Analysen

Horizontnr.	Tiefe dm	Skelett Mas-%	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)						
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T
1	2	0,1	0,2	0,7	1	54,3	19,4	8,5	15,9
2	3,5	0	0,1	0,4	1	52,4	22,6	7,3	16,2
3	5	0	0	0,2	0,6	45,9	23,3	8,8	21,2
4	7	0	0	0,1	0,5	42	26,8	8,4	22,2
5	9	0	0	0,1	0,3	44,6	28,2	8	18,8
6	14	0	0	0,2	2,6	42,4	26,9	11,3	16,6

Horizont-nr.	Carbonat Mas-%	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	potentiell austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )					BS %
				Na	K	Mg	Ca	H-Wert	
1	0	6,4	6	0	0	1,6	5,9	7	53
2	0	7,1	6,6	0	0	0,8	8,7	5	67
3	0	7,6	6,9	0	0	0,9	11,3	6	67
4	0	7,7	7,1	0	0	0,1	12,5	3	81
5	0,2	8,1	7,6	0	0	1,1	12,1	0	100
6	4,3	8,6	7,9	0	0	1,3	9,7	0	100

Horizont-nr.	KAK <sub>p</sub> cmol <sub>c</sub> ·	C <sub>org</sub> Mas-%	Humus Mas-%	N <sub>t</sub> Mas-%	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
						mg/kg						
1	15	1,5	2,6	0,161	9,3	-0,65	55,2	80	0,19	39	97	216
2	15	1,2	2,1	0,147	8,2	-0,65	59,3	55	0,16	40	72	150
3	18	0,9	1,6	0,098	9,2	-0,65	53,2	12	0,06	34	-9	68
4	16	0,6	1	0,063	9,5	-0,65	49,4	9	0,05	37	-9	56
5	13	0,3	0,5	0,049	6,1	-0,65	49,6	9	0,05	35	-9	51
6	11	0,2	0,3	0,049	4,1	-0,65	37	8	0,08	28	-9	45

Horizont-nr.	ρ <sub>B</sub> g/cm <sup>3</sup>	kf cm/d	GPV	Volumen% Wasser bei pF				LK	nFK	PWP
				1,8	2,5	3	4,2			
				Volumen%						
1	1,33		48	34	26	18	10	14	24	10
2	1,41	93	45	39	32	21	13	6	26	13
3	1,39	109	46	41	31	26	16	5	25	16
4	1,26	2400	51	37	29	24	14	14	23	14
5	1,19	1091	54	38	26	23	11	16	28	11
6	1,41	90	47	40	29	26	11	6	29	11

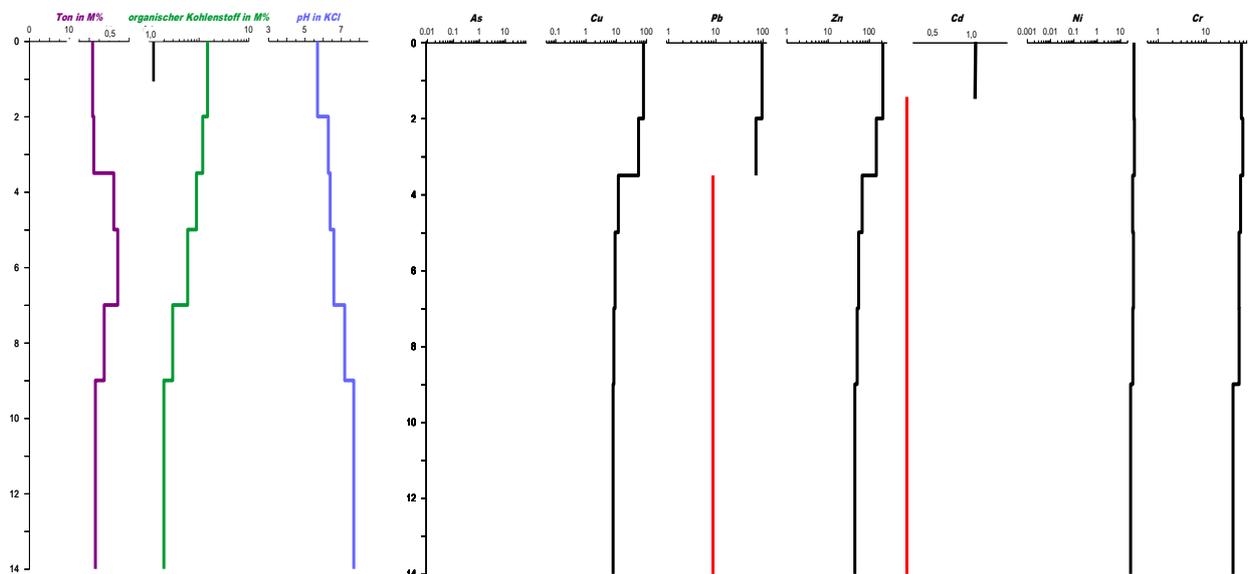


Abb. 27: Tiefenverläufe der Retentionsparameter für Spurenelemente und ausgewählter Spurenelementgehalte in mg/kg in Profil BDF 46 (Polleben), Beprobung 1994. Deutlich sichtbar sind die Spurenelementbelastungen des Oberbodens, die über den Vorsorgewerten liegen. Die Cd-Gehalte liegen laut Nachmessung der Flächenproben in den oberen 15 cm oberhalb des Vorsorgewertes (> 1,0 mg/kg). Rot gekennzeichnete Werte entsprechen der Bestimmungsgrenze.

Region	Stratigraphie/Lagen	Gestein	Substrat	Horizont	Anzahl	Mächtigkeit in dm	gU	mU	fU	T	Abschlammbares	Feinboden	Bodenart n. Kopecky	Corg	Humus	Humus-Klasse	Nt	Corg/Nt	Kalk	Kalk-Klasse	pH in H2O	pH in KCl	KAK pot	Ba-sättigung		
							in M%							in M%		M%	M%		cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup>				%			
schwarzerdebetonte Löss-Landschaften	Holozän	Abschlämmlöss	uz-u(Lo)	Axp	40	2,8	48	21	8	17	31,1	Ut4	L	1,69	2,9	h3.2	0,49	9	0,4	c1	7	6,7	17	83		
		Abschlämmlöss	uz-u(Lo)	Axh	13	2,6	47	22	9	19	33,5	Ut4	L	1,42	2,4	h3.1	0,13	10	0,9	c2	7,6	7,3	19	99		
		Abschlämmlöss	uz-u(Lo)	M	13	3,7	47	19	6	20	31,5	Ut4	L	0,70	1,2	h2.1	0,08	8	0,4	c1	8,1	7,2	13	97		
	Decklagen: Haupt und Mittellage	Löss	p-eu(Lo)	eAxp	57	2,8	47	22	7	19	31,9	Ut4	L	1,56	2,7	h3.2	0,17	9	5,8	c3	8	7,4	19	99		
		Löss	p-u(Lo)	Axp	173	2,6	47	19	7	20	32,8	Ut4	L	1,71	3,0	h3.2	0,17	10	0,2	c1	7,1	6,6	19	88		
		Löss	p-u(Lo)	Al-Axp	17	2,5	53	21	8	15	28,7	Ut3	sL	1,31	2,3	h3.1	0,15	9	0,1	c1	6,7	6,2	17	72		
		Löss	p-eu(Lo)	erAxp	15	1,6	46	20	7	19	31,5	Ut4	L	1,54	2,6	h3.2	0,16	9	5,4	c3	7,9	7,5	19	99		
		Löss	p-u(Lo)	rAxp	66	1,5	46	20	7	21	33,5	Ut4	L	1,58	2,7	h3.2	0,15	10	0,2	c1	7,3	6,5	19	89		
		Löss	p-u(Lo)	Axh	104	2,2	47	21	7	20	33,5	Ut4	L	1,32	2,3	h3.1	0,13	10	0,3	c1	7,6	6,9	19	91		
		Löss	p-u(Lo)	Bv-Axh	48	1,7	47	21	7	20	33,1	Ut4	L	0,84	1,3	h2.1	0,10	9	0,1	c1	7,3	6,7	18	89		
		Löss	p-t(Lo)	Bht-Axh	10	1,8	38	24	8	28	41,7	Tu4	L	0,81	1,4	h2.1	0,08	10	0,1	c1	7,4	6,7	19	93		
		Löss	p-u(Lo)	Sg-Axh	4	1,7	49	17	6	21	31,6	Ut4	L	0,65	1,1	h2.1	0,08	8	0,1	c1	8	7,2	16	100		
		Löss	p-u(Lo)	Bv	60	1,8	52	20	6	18	29,8	Ut4	sL	0,40	0,7	(h1.2)	0,06		0,3	c1	7,9	7,1	13	97		
		Löss	p-t(Lo)	Ael+Bt	5	2,5	44	19	6	29	40,4	Tu4	L	0,40	0,7	(h1.2)	0,05		0,0	c1	7,3	6,4	16	87		
		Schwemmlöss-Fließerde	pfl-eu(Lou)	eScg	1	3,5	34	31	11	23	42,4	Ut4	L							15,9	c4	8,1	7,5	12	100	
		Schwemmlöss	f-eu(Lou)	eSg	11	4	55	20	5	12	22,6	Ut2	SL	0,13	0,2	(h1.0)	0,07			11,5	c4	8,2	7,7	7	100	
		Löss	p-eu(Lo)	elCc	201	0,8	55	20	6	14	25,8	Ut3	sL	0,35	0,6	(h1.1)	0,03			15,1	c4	8,3	7,8	10	98	
		Löss-Fließerde	pfl-eu(Lo)	elCc	90	3,4	55	20	6	14	25,6	Ut3	sL	0,33	0,6	(h1.1)	0,03			12,6	c4	8,3	7,7	9	100	
		Untergrund	Schwemmlöss	f-eu(Lou)	eScg	1	4,1	69	8	6	16	24,6	Ut3	sL	0,35	0,6	(h1.2)	0,04			16,1	c4		7,5	14	100
			Geschiebemer-gel-Fließerde	pfl-(k)el(Mg)	elCc	57	4,3	14	8	7	19	28,2	Ls4	sL	0,21	0,4	(h1.1)	0,03			10,3	c4	8,4	7,7	10	100

Region	Stratigraphie/Lagen	Gestein	Substrat	Horizont	Anzahl	Mächtigkeit in dm	gU	mU	fU	T	Abschlämmbares	Feinboden	Bodenart n. Kopeccky	Corg	Humus	Humus-Klasse	Nt	Corg/Nt	Kalk	Kalk-Klasse	pH in H2O	pH in KCl	KAK pot	Basensättigung			
							in M%							in M%			M%						M%		cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup>	%	
lössbeeinflusster Harzrand	Decklagen: Haupt und Mittellage	Löss	p-u(Lo)	Axp	1	2	52	22	8	17	30,9	Ut4	L	1,60	2,8	h3.2	0,13	12	1,4	c2	8	7,3	16	100			
		Löss	p-eu(Lo)	erAxp	1	1	51	23	8	17	31,2	Ut4	L	1,40	2,4	h3.1	0,13	11	2,3	c3	7,9	7,3	15	100			
		Löss	p-u(Lo)	Bv	1	1,5	51	22	7	20	32,9	Ut4	L	0,30	0,5	(h1.1)	0,04		0,0	c0	8,1	7,1	12	100			
		Löss	p-t(Lo)	Ael+Bt	2	1,5	51	15	5	29	37,9	Tu4	L						0,0	c0	8,1	6,8	17	97			
		Löss	p-t(Lo)	Sd-Bt	1	2,5	43	22	7	27	39,9	Tu4	L						0,2	c1	8	7	16	100			
		Löss-Fließerde	pfl-eu(Lo)	elCc	3	2,7	56	20	6	15	26,9	Ut3	sL	0,10	0,2	(h1.0)			10,5	c4	8,4	7,4	10	100			
		Löss	p-eu(Lo)	elCc	3	5,6	56	22	6	14	26,8	Ut3	sL	0,20	0,3	(h1.0)			12,0	c4	8,3	7,5	6	100			

Die genauere Gliederung der Humusklassen: h1.0 <= 0,3 M%; h1.1 > 0,3 - < 0,6 M%; h1.2: >= 0,6 - < 1 M%; h2.1: >= 1 - < 1,5 M%; h2.2: >= 1,5 - < 2 M%; h3.1: >= 2 - < 2,5 M%; h3.2: >= 2,5 - < 4 M% Humus; (h...): stellenweise humos; Abschlämmbares = [Ton] + [Feinschluff] + 0,27\*[Mittelschluff]; Bodenart n. Kopeccky = Bodenart der Bodenschätzung

Tab. 4: Substrat-Horizontgruppen der schwarzerdebetonten Lösslandschaften und des lössbeeinflussten Harzrandes und ihre über die Mächtigkeit gewogenen Boden-Parameter, Klassierungen nach KA5.

## 5. Anhang – Bodenbiologie

Ines Koth, Johannes Schneider

In Vorbereitung der Exkursion zur Tagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft am 02.09.2023 wurden zwei Böden in der Nähe von Helbra im April 2023 durch das Landesamt für Umweltschutz hinsichtlich des Lumbricidenbesatzes und der Mikrobiellen Aktivität untersucht. Zusätzlich sollen die dementsprechenden Parameter der Boden-Dauerbeobachtungsfläche (BDF) Polleben erläutert werden. Betrachtet werden soll der potenzielle Einfluss erhöhter Schwermetallgehalte im Boden, aufgrund der Bergbauhistorie der drei Standorte, auf die Bodenmakro- und Mikrofauna.

### Methoden Lumbriciden

Dazu wurden auf den Sonderflächen Helbra 1 und 2 jeweils eine Fläche von 10 m x 10 m neben den angelegten Bodenprofilen Helbra 01a und Helbra 02a festgelegt und je acht Teilflächen außerhalb dieser Kernzone zur Beprobung herangezogen. Auf der BDF 46 Polleben ist die Vorgehensweise gleich, jedoch beträgt die Kernfläche hier 50 m x 50 m. Die Probenahme erfolgte durch Handauslese der organischen Auflage und durch Austreibung der Lumbriciden mit einer 0,2 %igen Formalinlösung aus dem Mineralboden. Anschließend wurde der Boden bis auf Spatentiefe ausgehoben und zusätzlich per Handauslese untersucht. Alle gefangenen Regenwürmer wurden in Ethanol konserviert und im Labor, wenn möglich, bis auf Artniveau bestimmt.

### Methoden Bodenmikrobiologie

Für die Probennahme zur Analytik der Bodenmikrobiologie wurden die beiden Flächen bei Helbra, ähnlich der Lumbricidenaufnahme außerhalb der 10 m x 10 m Fläche beprobt. Dies erfolgte an neun Probennahmepunkten aus dem Oberboden bis 10 cm Tiefe mittels Bohrstock. Anschließend wurden daraus drei Mischproben erstellt. Auf der BDF Polleben erfolgte die Probenahme nach demselben Prinzip, jedoch außerhalb der 50 m x 50 m Kernfläche. Da es sich um einen Ackerstandort handelt, wird dort der Oberboden bis 30 cm beprobt. Analysiert und betrachtet werden die Parameter Mikrobielle Biomasse und Bodenatmung, welche als Grundlage für die Errechnung des metabolischen Quotienten dienen.

### Ergebnisse Bodenprofile Helbra 01a und Helbra 02a

#### Lumbricidenbesatz

Die erhaltenen Ergebnisse wurden mit Daten der BDF 56.1 Frankroda sowie mit den gemittelten Werten aller bisher in Sachsen-Anhalt untersuchten BDF mit Laubwaldbestand verglichen und sind in Tabelle 5-1 dargestellt.

Sowohl im Vergleich mit der BDF 56.1 Frankroda, als auch gegenüber dem Mittel aller untersuchten BDF mit Laubbaumbestand wird deutlich, dass die beiden Sonderflächen Helbra bei allen betrachteten Parametern die typischen Werte erreichen oder sogar übertreffen. Nur die berechnete Artendiversität von Helbra 01a liegt leicht unter dem erwarteten Wert. Dies liegt hauptsächlich an der Dominanz der Art *Aporrectodea caliginosa*, der 44 der 60 bestimmten Adulttiere zugeordnet werden konnten.

Die Artendiversität wird mittels SHANNON-WIENER Index anhand der Anzahl der Arten und der Anzahl der Individuen je Art berechnet. Die Arten- oder Biodiversität hat dabei keine Einheit und keinen Grenzwert. Der kleinstmögliche Wert ist 0 und tritt auf, wenn keine oder nur eine Art gefunden wurde. Der Shannon-Wiener-Index wird größer je mehr Arten in einem Gebiet vertreten sind und je gleichmäßiger die Anzahl der gefundenen Individuen auf diese Arten verteilt ist. Dabei wiegt die Anzahl der Arten schwerer, als die Anzahl der gefundenen Individuen.

	Helbra		BDF 56.1 Frankroda				MW Laubwald BDF
	1	2	2002	2006	2012	2018	1994–2020
Artenanzahl	4	4	3	3	3	4	4,3
Anzahl Adulttiere	60	33	25	68	10	30	35,8
Anzahl Jungtiere	126	124	7	16	0	33	80,0
Artendiversität	0,87	1,11	0,99	0,98	0,80	1,11	1,07
pH	6,1	6,0	3,4	3,3	3,6	3,5	4,7

Tab. 5-1: Zusammenfassung der Probennahmeergebnisse der Sonderflächen der Profile Helbra 01a und Helbra 02a im Vergleich zu den gemittelten Werten aller untersuchten Forstflächen mit Laubbaumbestand in Sachsen-Anhalt

Je nach Bodenart, Nutzung und Vegetation treten die verschiedenen Lumbricidenarten häufiger oder seltener auf. Um die typischen Arten für einen Laubwald in Sachsen-Anhalt zu ermitteln, wurden alle Probennahmen seit 1994 (n = 68) betrachtet und daraus die Fundhäufigkeit jeder Art in Prozent berechnet. Diese sind, ebenso wie die auf den Sonderflächen Helbra 01a und 02a sowie auf der BDF 56.1 Frankroda bestimmten Arten, in Tabelle 5-2 dargestellt.

Typische Arten für BDF mit Laubwald		BDF 56.1 Frankroda	Helbra	
Fundhäufigkeit	Art		01a	02a
69 %	<i>Dendrobaena octaedra</i>	X	X	X
68 %	<i>Lumbricus rubellus</i>	X	X	X
51 %	<i>Dendrodrillus rubidus</i>	X		X
49 %	<i>Aporrectodea caliginosa</i>		X	
44 %	<i>Lumbricus terrestris</i>			
41 %	<i>Aporrectodea rosea</i>			
34 %	<i>Octolasion tyrtaeum</i>			
31 %	<i>Lumbricus castaneus</i>		X	X

X = Vertreter dieser Art konnten bei der Probenahme bestimmt werden

Tab. 5-2: Auf den Sonderflächen Helbra 1 und 2 vertretene Lumbricidenarten im Vergleich zu den typischen Vertretern auf den untersuchten Forstflächen mit Laubbaumbestand in Sachsen-Anhalt

Am häufigsten findet man in den untersuchten Laubwäldern Sachsen-Anhalts die Arten *Dendrobaena octaedra*, *Lumbricus rubellus* und *Dendrodrillus rubidus*. Alle drei Arten leben epigäisch und kommen vor allem in der Streuauflage vor.

Auf der BDF 56.1 Frankroda konnten seit Beginn der Probennahmen immer Vertreter dieser drei Arten gefunden werden. 2018 wurde zusätzlich die Art *Lumbricus eiseni* (nicht in Tabelle 5-2 aufgelistet) bestimmt, die bisher eher selten (bei nur 8 % der Probennahmen auf Flächen mit Laubwald) und nur auf BDF mit forstlicher Nutzung gefunden wurde.

Während in Helbra 02a ebenfalls Vertreter aller drei Arten gefangen werden konnten, war *Dendrodrillus rubidus* in Helbra 01a nicht vertreten. Auf beiden Flächen konnte zu dem die etwas seltenere Art *Lumbricus castaneus* dokumentiert werden. In Helbra 01a traten zusätzlich noch Vertreter von *Aporrectodea caliginosa* auf.

Alle Ergebnisse zusammen betrachtet ergeben sich für beide Standorte, Helbra 01a und 02a, für Laubwälder in Sachen-Anhalt typische Lumbricidenbestände. Sowohl die Anzahl der Arten und Individuen als auch die vertretenen Arten entsprechen den Erwartungen für diesen Nutzungstyp.

Ein negativer Einfluss der hohen Schwermetallgehalte im Boden auf die Lumbriciden konnte in keinem Parameter nachgewiesen werden. Aus der Arbeit „Regenwürmer als Akkumulationsindikatoren für Schwermetalle“ (TISCHER 2010) geht hervor, dass Lumbriciden Schwermetalle im Körper anreichern können, ohne eine kurzfristige erkennbare Schädigung zu erleiden. Dabei hängt die Stärke der Akkumulation von vielen Faktoren ab, wie z. B. Höhe der Schwermetallgehalte im Boden, Lumbricidenart und Lebensalter der Tiere.

### Bodenmikrobiologie

Um die Werte der beiden Standorte bei Helbra einordnen zu können, wurden diese mit der BDF Frankroda 1 verglichen, welche ähnliche Standortbedingungen (Vegetation, Bodenprofil), jedoch keine Belastung mit Schwermetallen aufweist. Da nicht genügend Streuauflage vorgefunden wurde, konnte diese nicht separat beprobt und in den Vergleichswerten berücksichtigt werden.

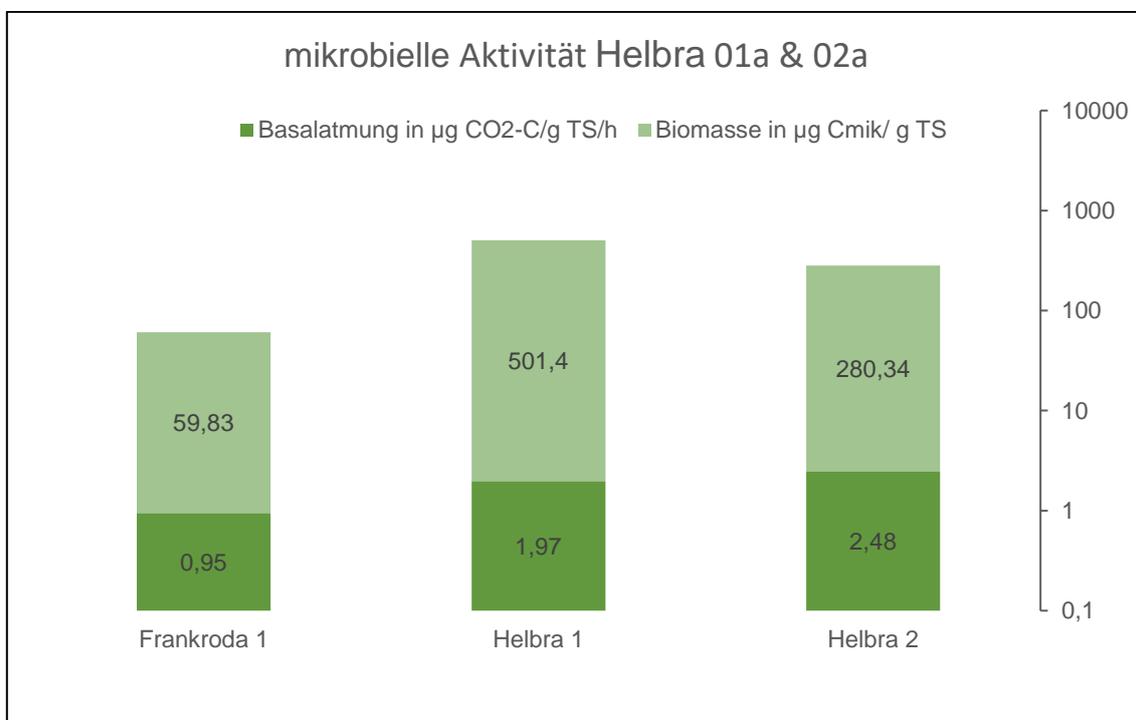


Abb. 5-1: Vergleich mikrobielle Aktivität der Standorte Helbra mit Frankroda 1 (unbelastete Fläche mit sonst ähnlichen Standortbedingungen)

In Abbildung 1 ist ersichtlich, dass die Ergebnisse der mikrobiellen Biomasse und Bodenatmung der Standorte Helbra 01a und 02a sogar etwas über dem des Vergleichsstandortes liegen. Ein Einfluss der Schwermetalle ist somit nicht direkt erkennbar. Es ist zu vermuten, dass durch die mäßig sauren bis schwach alkalischen pH-Werte des Bodens Schwermetalle immobil und daher nicht bioverfügbar vorliegen. Die pH-Werte sind dem Exkursionsbericht der Seiten 61 (Helbra 01a) und 65 (Helbra 02a) zu entnehmen. Somit sind noch keine Auswirkungen gegeben. Des Weiteren ist der Boden an den beiden Standorten auf Grund der Bergbauhistorie bereits über einen langen Zeitraum mit Schwermetallen belastet, wodurch Bodenmikroorganismen sich besser angepasst haben könnten. Laut KANDELER et al. (2000) kann eine Schwermetallkontamination des Bodens zu einem dominanteren Vorkommen von Pilzen im Vergleich zu Bakterien innerhalb des Bodenmikrobioms führen.

## Ergebnisse Bodenprofil BDF Polleben

Die Boden-Dauerbeobachtung begann in Sachsen-Anhalt 1990 mit der Einrichtung der ersten drei Boden-Dauerbeobachtungsflächen. 1994 wurde die BDF 46 Polleben eingerichtet. Sie liegt auf dem Pollebener Löss-Plateau und wird als Ackerfläche genutzt.

### Lumbricidenbesatz

Die erste Beprobung hinsichtlich des Lumbricidenbestandes fand 1995 statt und verlief ohne Fangergebnis. Seither wurden insgesamt sechs Beprobungen durchgeführt. Dabei konnte eine stetige Verbesserung der Lumbricidenpopulation beobachtet werden. Jedoch lagen die ermittelten Werte immer unter dem Durchschnitt aller in Sachsen-Anhalt untersuchten Ackerflächen (siehe Tabelle 5-3).

	BDF 46 Polleben					
	1995	1998	2002	2007	2013	2020
Artenanzahl	0	0	1	2	2	1
Anzahl Adulttiere	0	0	4	4	20	1
Anzahl Jungtiere	0	3	16	60	22	1
Artendiversität	0,00	0,00	0,00	0,56	0,61	0,00
pH	-	-	6,6	7,4	7,1	7,1
	Mittelwert Ackerflächen					
	1994–1998	1999–2003	2004–2008	2009–2014	2015–2020	Gesamt
Artenanzahl	1,3	2,4	2,9	3,4	3,0	2,6
Anzahl Adulttiere	14,7	26,1	36,3	45,8	30,9	30,7
Anzahl Jungtiere	47,5	56,4	95,5	94,2	32,1	65,1
Artendiversität	0,25	0,48	0,69	0,74	0,77	0,59
pH	-	6,3	6,8	7,1	6,8	6,7

Tab. 5-3: Zusammenfassung der Probennahmeergebnisse der BDF 46 Polleben im Vergleich zu den gemittelten Werten aller untersuchten Ackerflächen in Sachsen-Anhalt

Das Probennahmejahr 2020 muss in der Auswertung gesondert betrachtet werden. In diesem Jahr wurde die Ackerfläche durch eine Mäuseplage stark beeinträchtigt. Diese hat nicht nur den Ertrag drastisch minimiert, sondern offenbar auch den Bestand an Lumbriciden.

Eine Bachelorarbeit von 2012 über die „Ursachenanalyse und statistische Signifikanz-Prüfung der Veränderung von Schwermetallwerten auf der Boden-Dauerbeobachtungsfläche 46 Polleben (Sachsen-Anhalt)“ kommt zu dem Schluss, dass ein hoher Schwermetalleintrag durch den Theisenschlamm aus der Monodeponie „Teich 10“ in der Nähe der Kupferhütte Helbra verursacht wurde. Seit 2002 wurde die Halde einer fachgerechten Deponierung unterzogen und gilt als abgedeckt. Dies könnte eine Ursache dafür sein, dass sich der Lumbricidenbestand seit 2007 deutlich erholte.

Der Lumbricidenbestand der BDF 46 Polleben lag und liegt weiterhin unter dem Durchschnitt der untersuchten Ackerflächen in Sachsen-Anhalt. Die hohen Schwermetallgehalte im Boden können dabei als Ursache weder bestätigt noch ausgeschlossen werden.

### Bodenmikrobiologie

Wie bereits oben beschrieben, erfolgte die Beprobung zur Schonung außerhalb der BDF-Kernfläche von 50 m x 50 m. Da es sich um einen Ackerstandort handelt, unterliegt der Boden regelmäßiger Bearbeitung. Dies ist auch erkennbar über den Zeitraum seit 1996, da Basalatmung und Biomasse leicht variieren, wozu weitere äußere Einflüsse zu berücksichtigen sind, wie zum Beispiel pH-Wert,

Temperatur, Luft-Wasser-Verhältnis. Eine klare Tendenz ist aus den Werten nicht ersichtlich. So stiegen die Zahlen von 1996–2004 kontinuierlich an, sanken zwischenzeitlich bis 2012 aber wieder ab. Ein starker Einfluss des Schwermetalls ist auch hier nicht ersichtlich, da Polleben gegenüber anderen BDF adäquate Konzentrationen vorweisen kann. Die Parameter mikrobielle Biomasse und Bodenatmung der BDF Polleben befinden sich verglichen mit anderen Acker-BDF in der unteren Hälfte, doch sind die aktuellsten Analyseergebnisse nur geringfügig unter dem Durchschnitt der Vergleichsstandorte. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Werte zwischen 2008 und 2012 ein starkes Tief vorweisen, von dem sich bis 2016 sichtlich erholt werden konnte. Die höchste mikrobielle Aktivität konnte 2004 ermittelt werden.

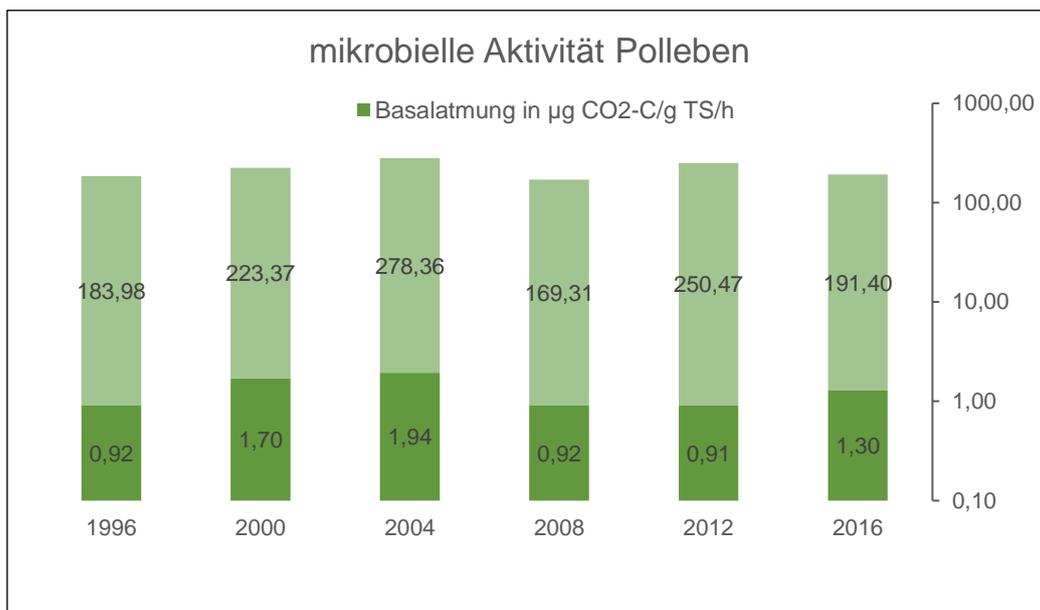


Abb. 5-2: Mikrobielle Aktivität der BDF Polleben im Zeitraum von 1996 - 2016.

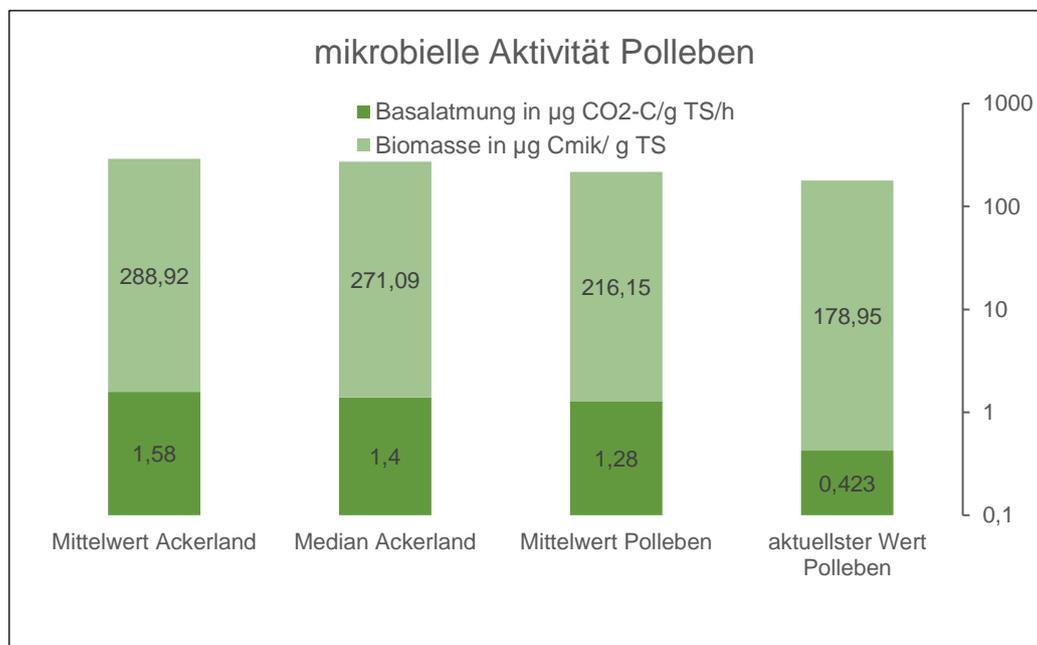


Abb. 5-3: BDF mikrobielle Aktivität Polleben (Mittelwert ganze Periode und aktuellste Werte) im Vgl. mit anderen BDF-Standorten

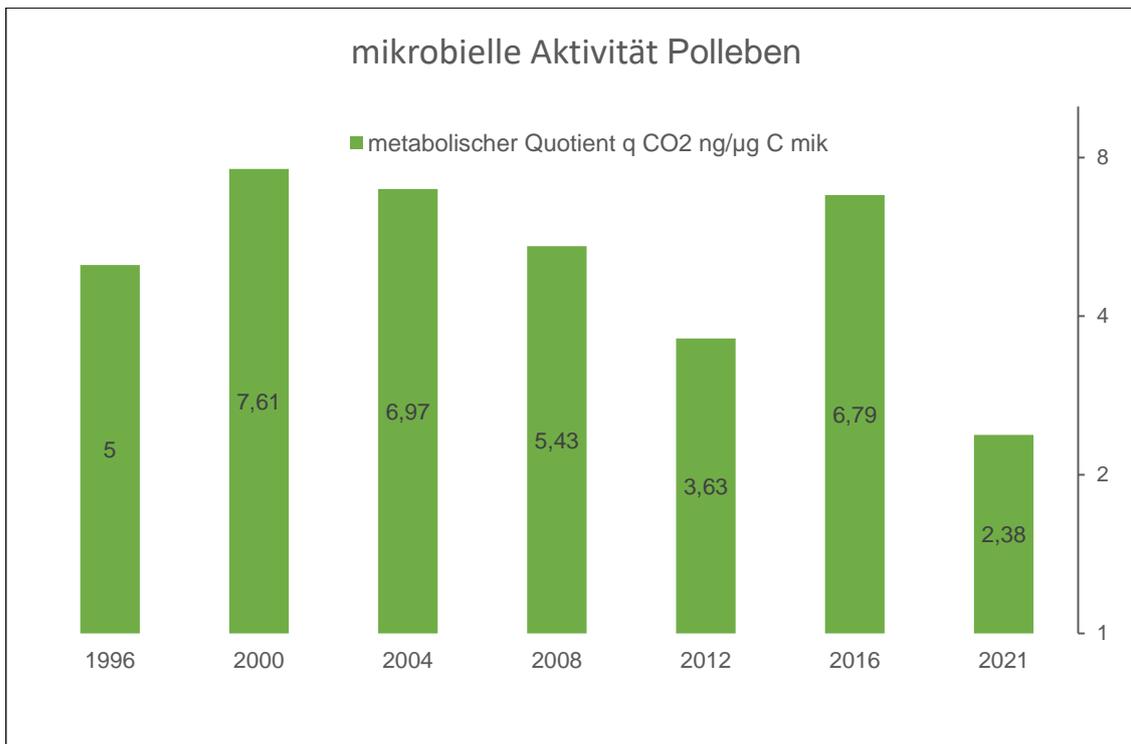


Abb. 5-4: Metabolischer Quotient der einzelnen Beprobungsjahre der BDF Polleben

## 5. Literatur und Quellen

### Kapitel 1.1

[Agraratlas Sachsen-Anhalt \(uni-halle.de\)](http://www.agraratlas.uni-halle.de)<http://www.agraratlas.uni-halle.de/>(abgerufen am 20.02.23).

AUTORENKOLLEKTIV (1982): Mansfelder Land. – Werte unserer Heimat, Band 38, Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Geographie und Geoökologie, 228 S. – Berlin(Akademie).

KAINZ, W. (1999a): Karte der Bodenlandschaften Sachsen-Anhalts. – In: AUTORENKOLLEKTIV (1999): Bodenatlas Sachsen-Anhalt, Teil II, Thematische Bodenkarten. – Halle (Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt).

ROßBERG, D., MICHEL, V., GRAF, R.& NEUKAMPF, R. (2007): Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. – Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., 59, 7, S. 155–161; Stuttgart (Ulmer).

### Kapitel 1.2

BACHMANN, G. H. & SCHWAB, M. (2008): Regionalgeologische Entwicklung. – In: BACHMANN, G. H., EHLING, B.-C., EICHNER, R. & SCHWAB, M. (Hrsg.) (2008): Geologie von Sachsen-Anhalt. – 689 S. – Stuttgart (Schweizerbart).

EISSMANN, L.(1994): Leitfaden der Geologie des Präquartärs im Saale-Elbe-Gebiet. – In: EISSMANN, L. & LITT, T. (1994): Das Quartär Mitteldeutschlands – Ein Leitfaden und Exkursionsführer mit einer Übersicht über das Präquartär des Saale-Elbe-Gebietes. – Altenburger Naturwiss. Forsch., H. 7, S. 11–46; Altenburg.

FRANZKE, H.-J.& ZERJADTKE, W.(1999): Übersicht über die Bildung der hydrothermalen Gänge des östlichen Harzes – ein Fortschrittsbericht. – In: PÖLLMANN, H. & MÜCKE, A. (1999): Beiträge zur Mineralogie und Geologie von Sachsen-Anhalt. – Sonderband zur VFMG-Sommertagung 1999 in Halle. – Halle.

GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT (Hrsg.) (1998): Geologische Karte Harz 1:100.000. – Halle.

GRUNOW, H. (1996): Der Bergbaulehrpfad bei Wettelrode. – In: LANDESHEIMATBUND SACHSEN-ANHALT E.V. (Hrsg.)(1996): Studien zum Altbergbau in der Sangerhäuser Mulde. – Beiträge zur Regional- und Landeskultur Sachsen-Anhalts, 2, S. 18–31; Halle.

KATZUNG, G.& EHMKE, G.(1993): Das Prätertiär in Ostdeutschland – Strukturstockwerke und ihre regionale Gliederung. – Köln (Loga).

KÖLBEL, H. (1968): Regionalgeologische Stellung der DDR im Rahmen Mitteleuropas. – In: ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT (Hrsg.) (1968): Grundriß der Geologie der Deutschen Demokratischen Republik. Bd. 1, Geologische Entwicklung des Gesamtgebietes. – Berlin (Akademie-Verlag).

KUNERT, R. (1998): Zur Genese der Kaolintone, Tertiärquarzite und Eisenerze in der Umgebung von Halle (Saale). – Mitteilungen zur Geologie von Sachsen-Anhalt, 4, S. 21–49; Halle (Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt).

RADZINSKI, K.-H., BEUTLER, G., FRANZKE, H.-J. & EHLING, B.-C. (2008b): Nördliches Harzvorland (Subherzyn). – In: BACHMANN, G. H., EHLING, B.-C., EICHNER, E. & SCHWAB, M. (Hrsg.) (2008): Geologie von Sachsen-Anhalt, S. 385–408; Stuttgart (Schweizerbart).

RADZINSKI, K.-H., EHLING, B.-C., KUNERT, R. & BEUTLER, G. (2008a): Südöstliches Harzvorland. – In: BACHMANN, G. H., EHLING, B.-C., EICHNER, E. & SCHWAB, M. (Hrsg.) (2008): Geologie von Sachsen-Anhalt, S. 458–471; Stuttgart (Schweizerbart).

RAPPSILBER, I. (2003): Struktur und Entwicklung des nördlichen Saale-Beckens (Sachsen-Anhalt): Geophysik und Geologie. – Dissertation, Univ. Halle. <http://sundoc.bibliothek.uni-halle.de/diss-online/fach.htm>.

RAPPSILBER, I. (Red.) (2006): Halle-Störung. – Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen von Sachsen-Anhalt, 10, 156 S. – Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt).

RAPPSILBER, I. & STEDINGK, K. (2016): Geotourismus im Harz. Geologisch-montanhistorische Karte des Harzes 1:100.000. – 3. neu bearbeitete Auflage. – Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt).

RAPPSILBER, I., STEDINGK, K., KÖNIG, S., HECKNER, J. & THOMAE, M. (2007): Geotourismus in den Kupferschieferrevieren. Geologisch-Montanhistorische Karte Mansfeld-Sangerhausen 1:50.000. – 3. Auflage; Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt).

SCHWAB, M. (2008): Harz. – In: BACHMANN, G. H., EHLING, B.-C., EICHNER, E. & SCHWAB, M. (Hrsg.) (2008): Geologie von Sachsen-Anhalt, S. 408–457; Stuttgart (Schweizerbart).

STEDINGK, K., HEROLD, U. & HECKNER, J. (2006): Kupferschieferbergbau und Gipskarst am Südharz (Exkursion I am 21. April 2006). – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, N. F., 88, S. 345–368; Stuttgart.

- STROBEL, G., HEROLD, U. & SPILKER, M. (2008): Zur Flutung der Mansfelder Mulde. Eine Nachbetrachtung. – Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen in Sachsen-Anhalt, 15, 112 S.; Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt).
- WAGENBRETH, O. & STEINER, W. (1982): Geologische Streifzüge. Landschaft und Erdgeschichte zwischen Kap Arkona und Fichtelberg. – 204 S.; Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).
- WALTER, R. (2003): Geologie von Mitteleuropa. – 7. Völlig neu bearb. Auflage, S. 7, S. 397 ff; Stuttgart (Schweizerbart).
- WOLF, A., SPARFELD, K.-F., DÖLZ, F., SCHRÖDER, W. & HANISCH, K. (1990): Ergebnisbericht Suche Kupferschiefer Raum Sangerhausen. – Geologische Forschung und Erkundung GmbH Halle, 177 Bl., 86 Anlagen; Halle (unveröffentlicht).

### Kapitel 1.3

- ALTERMANN, M. & MANIA, D. (1968): Zur Datierung von Böden im mitteldeutschen Trockengebiet mit Hilfe quartärgeologischer und urgeschichtlicher Befunde. – Albrecht-Thaer-Archiv, 12, S. 539–557.
- BODENÜBERSICHTSKARTE DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND 1:200.000 (BÜK200), Blatt CC 4726 Goslar. – KAINZ, W., BRANDTNER, W., BURSE, K., GEHRT, E. & ROSENBERGER, W. (Bearb.) (2012). – Hannover (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland).
- BODENÜBERSICHTSKARTE DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND 1:200.000 (BÜK200), Blatt CC 4743 Leipzig. – KAINZ, W., KNAUF, C., MÖBES, A., HEILMANN, H., BAURIEGEL, A. (Bearb.) (1999). – Hannover (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland).
- CZERNY, P. (1965): Bodenkundliche Untersuchungen an einer fossilen und einer rezenten Schwarzerde. – Albrecht-Thaer-Archiv, 9, S. 867–881.
- DÖRING, J. & CHUDY, T. (2001). Klassifizierung hydrometeorologischer Parameter für das Gebiet des Landes Sachsen-Anhalt auf der Basis digital vorliegender 1 x 1 km Netzdaten. – Bericht. – Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, unveröffentlicht).
- DÖRING, J. & CHUDY, T. (2002). Darstellung und Klassifizierung ausgewählter meteorologischer Parameter für das Gebiet des Landes Sachsen-Anhalt auf der Basis digital vorliegender 1 x 1 km Netzdaten. – Bericht. – Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, unveröffentlicht).
- FORSTLICHE STANDORTSKARTE: [www.waldgeoportal.de/maps/106/view#/,](http://www.waldgeoportal.de/maps/106/view#/) letzter Aufruf 02.12.2022.
- GRÜNBERG, J. M. (1996): Die geschichtliche Entwicklung Sachsen-Anhalts. – Falttafel. – Halle (Landesamt für archäologische Denkmalpflege Sachsen-Anhalt, Landesmuseum für Vorgeschichte).
- GRÖBNER, F., GEILING, S., WEIGEL, G., HUHN, J. & SCHWANECKE, W. (1980): Erläuterungen zur Standortskarte des Staatlichen Forstwirtschaftsbetriebes Hettstedt. – Bericht. – Weimar (VEB Forstprojektierung Potsdam, Betriebsteil Weimar, unveröffentlicht).
- HEILMANN, A. & PUNDT, H. (BEARB.) (2011): Anpassungskonzept an die Folgen des Klimawandel für den Landkreis Mansfeld-Südharz und die Stadt Sangerhausen. – Magdeburg (Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt).
- KAINZ, W. (1999a): Karte der Bodenlandschaften Sachsen-Anhalts. – In: AUTORENKOLLEKTIV (1999): Bodenatlas Sachsen-Anhalt, Teil II, Thematische Bodenkarten. – Halle (Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt).
- KAINZ, W. (1999b): Zur typgerechten Nutzung der Schwarzerden. – Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 91, H.2, S. 1033–1036, 2 Abb., 1Tab.; Oldenburg.
- KAINZ, W., KLAMM, M., POLIFKA, S. & WIEDNER, K. (im Druck): Der mehrphasige Grabhügel 1 im Memlebener Forst, BLK. – Halle (Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt).
- LAU (2012): Binnenlandsalzstellen im Schutzgebietssystem Natura 2000 des Landes Sachsen-Anhalt. – Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt. – 192 S.; Halle (Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt).
- MANIA, D., ALTERMANN, M. & RAU, D. (1995): Paläoböden und Stratigraphie des Mittel- und Jungquartärs im Mitteldeutschen Trockengebiet. – Tagungsmaterial Sitzung und Exkursion des AK Paläopedologie, Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, 25.–27.05.1995; Jena.
- ROBBERG, D., MICHEL, V., GRAF, R. & NEUKAMPF, R. (2007): Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. – Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst, 59, 7, S. 155–161. Stuttgart (Ulmer).

#### Kapitel 1.4

[https://de.m.wikipedia.org/wiki/Landkreis\\_Mansfeld-Südharz](https://de.m.wikipedia.org/wiki/Landkreis_Mansfeld-Südharz)(abgerufen am 08.03.2023).

<https://regionalatlas.statistikportal.de>(abgerufen am 15.01.2023).

<https://www.mdr.de/nachrichten/sachsen-anhalt/halle/mansfeld/mansfeld-suedharz-folgen-abwanderung100.html>(abgerufen am 13.03.2023).

#### Kapitel 1.5

AUTORENKOLLEKTIV (1982): Mansfelder Land. Werte unserer Heimat, Band 38, Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Geographie und Geoökologie, 228 S. – Berlin, Akademie-Verlag.

BERGBAUMUSEUM RÖHRIG-SCHACHT (Hrsg.) (1996): Zur Geschichte des Sangerhäuser Kupferbergbaus. – 80 S.; Wettelrode.

BODE, G. (1996): Ausgrabungen im Kupferschieferaltbergbau am Nordrand der Sangerhäuser Mulde. – In: LANDESHEIMATBUND SACHSEN-ANHALT E.V. (Hrsg.)(1996): Studien zum Altbergbau in der Sangerhäuser Mulde. – Beiträge zur Regional- und Landeskultur Sachsen-Anhalts, 2, S. 5–17; Halle.

BOHLEY, K. (2013): Mansfeld. – Reichtum der Provinz – Städte in Mitteldeutschland, 3, 128 S.; Halle (Hasenverlag).

BURMESTER, E. (2015): Geoarchäologische Untersuchungen an Bergbauspuren des Kupferschieferbergbaus zwischen Sittichenbach und Rothenschirmbach. – Masterarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. – Halle (unveröffentlicht).

FROTZSCHER, M. & MARQUARDT, D. (2021): Zum prähistorischen Nutzungspotential der Kupferschiefervererzung. – Archäologie in Sachsen-Anhalt, 10, S. 32–69; Halle (Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt und Archäologische Gesellschaft in Sachsen-Anhalt).

GRUNOW, H. (1996): Der Bergbaulehrpfad bei Wettelrode. – In: LANDESHEIMATBUND SACHSEN-ANHALT E.V. (Hrsg.)(1996): Studien zum Altbergbau in der Sangerhäuser Mulde. – Beiträge zur Regional- und Landeskultur Sachsen-Anhalts, 2, S. 18–31; Halle.

JANKOWSKI, G. & REMUS, W. (1963): Die Kupferschieferlagerstätte in der Sangerhäuser Mulde. – Schriften für den Referenten, 47 S.; Halle (Gesellschaft zur Verbreitung wissenschaftlicher Kenntnisse, Bezirkssektion Geowissenschaften).

RÜGER, F. & DECKER, H. (1992): Bergbaugeschichte, Geologie und Mineralien des Saalfeld-Kamsdorfer Bergreviers in Ostthüringen. – Veröffentlichungen Museum Gera, Naturwissenschaftliche Reihe, 19, S. 7–70; Gera.

SPIPKER, M. (2016): 800 Jahre Mansfelder Kupferschieferbergbau. – Vortrag zum 19. Internationalen Bergbau & Montanhistorik-Workshop in Sangerhausen/Wettelrode. - [Zuarbeit 800 Jahre Kupferschieferbergbau / Kapitel II \(druckruckzuck.de\)](#) (abgerufen am 4.12.2022).

[https://de.wikipedia.org/wiki/Mansfeld\\_\(Unternehmen\)#Kupferschieferbergbau](https://de.wikipedia.org/wiki/Mansfeld_(Unternehmen)#Kupferschieferbergbau)

#### Kapitel 2.1

Soweit nicht anders vermerkt, geht dieser Text auf STROBEL, G., HEROLD, U. & SPIPKER, M. (2008) zurück.

ALTERMANN, M. & D. KÜHN (1995): Exkursion E Mitteldeutsches Trockengebiet. – In: Exkursionsführer zur Jahrestagung 1995 in Halle. – Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 77, S. 229–278; Oldenburg.

ALTERMANN, M. & MANIA, D. (1968): Zur Datierung von Böden im mitteldeutschen Trockengebiet mit Hilfe quar-tärgeologischer und urgeschichtlicher Befunde. – Albrecht-Thaer-Archiv, 12, S. 539–557.

HOYNINGEN-HUENE, E. V. (1947, überarbeitet 1964): Strukturkarte der Mansfelder Mulde. – In: RADZINSKI, K.-H., HOYNINGEN-HUENE, E. V., KRIEBEL, U., SCHULZE, G., ALTERMANN, M. & SCHMIDT, B. (1962, mit Nachträgen 1964): Erläuterungen zur Geologische Spezialkarte der Deutschen Demokratischen Republik 1:25.000, Blatt 4536 Schraplau. – 232 S.; Halle (Zentrales Geologisches Institut).

LAU (2012): Binnenlandsalzstellen im Schutzgebietssystem Natura 2000 des Landes Sachsen-Anhalt. – Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt, 49, Sonderheft, 192 S. – Halle (Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt).

NABU (2022): Salziger See. Textbeitrag auf <https://naturerbe.nabu.de/naturparadiese/sachsen-anhalt/salziger-see/index.html> (abgerufen am 03.01.2022)

RADZINSKI, K.-H. (1961): Geologische Karte der Deutschen Demokratischen Republik 1:25.000, Blatt 4536 Schraplau. – Berlin (Zentrales Geologisches Institut).

- RADZINSKI, K.-H., DONATH, K.-D., HARTMANN, K.-J., HEROLD, U., KARPE, P., PAPKE, W., PRETSCHOLD, H.-H., RAPPILBER, I., SCHMIDT, E. & SCHMIDT, B. (2001): Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:25.000 von Sachsen-Anhalt, Blatt 4535 Erdeborn. – 2., neubearbeitete Auflage zur Karte von 1988, 110 S. – Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt).
- RADZINSKI, K.-H., HOYNINGEN-HUENE, E. V., BAUER, J., BURCHARD, I. & KRIEBEL, U. (1972): Geologische Karte der Deutschen Demokratischen Republik 1:25.000, Blatt 4535 Erdeborn. – Berlin (Zentrales Geologisches Institut).
- RADZINSKI, K.-H., HOYNINGEN-HUENE, E. V., KRIEBEL, U., SCHULZE, G., ALTERMANN, M. & SCHMIDT, B. (1962): Erläuterungen zur Geologische Spezialkarte der Deutschen Demokratischen Republik 1:25.000, Blatt 4536 Schraplau. – 232 S.; Halle (Zentrales Geologisches Institut).
- STROBEL, G., HEROLD, U. & SPILKER, M. (2008): Zur Flutung der Mansfelder Mulde. – Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen von Sachsen-Anhalt, 15, 112 S.; Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt).
- SUDERLAU, G. (1975): Jungtertiäre Ablagerungen in den Senken des Raumes Eisleben – Artern – Bad Frankenhausen. – Hercynia, N. F., 12, S. 228–325; Leipzig.
- VMBH e.V. et al. (HRSG.)(2008): Salziger See. – In: VEREIN MANSFELDER BERG- UND HÜTTENLEUTE E.V. et al. (2008): Mansfeld – die Geschichte des Berg- und Hüttenwesens, Bd. 3: Die Sachzeugen. – Veröff. aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum. – Eisleben (VMBH e.V.). [www.kupferspuren.eu](http://www.kupferspuren.eu) (abgerufen am 06.12.2022).

## **Kapitel 2.2**

- STROBEL, G., HEROLD, U. & SPILKER, M. (2008): Zur Flutung der Mansfelder Mulde. – Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen in Sachsen-Anhalt, 15, 112 S.; Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt).

## **Kapitel 2.3**

- AUTORENKOLLEKTIV (1982): Mansfelder Land. – Werte unserer Heimat, 38, 228 S.; Berlin (Akademie-Verlag).
- BODE, G. (1996): Ausgrabungen im Kupferschieferaltbergbau am Nordrand der Sangerhäuser Mulde. – In: LANDESHEIMATBUND SACHSEN-ANHALT E.V. (Hrsg.) (1996): Studien zum Altbergbau in der Sangerhäuser Mulde. – Beiträge zur Regional- und Landeskultur Sachsen-Anhalts, 2, S. 5–17; Halle.
- FRÜHAUF, M. (1999): Das Mansfelder Land – Kontrastrraum zwischen landschaftlichen „Highlights“, Umweltbelastung und sozialen sowie wirtschaftlichen Problemen. – Hercynia N.F. 32 (1999): S. 161–190.
- GRUNOW, H. (1996): Der Bergbaulehrpfad bei Wettelrode. – In: LANDESHEIMATBUND SACHSEN-ANHALT E.V. (Hrsg.) (1996): Studien zum Altbergbau in der Sangerhäuser Mulde. – Beiträge zur Regional- und Landeskultur Sachsen-Anhalts, 2, S. 18–31; Halle.
- HAACK, U. UND PLIMER, I. (1998): Zum Stoffbestand der Kupferschieferschlacken im Raume Mansfeld-Hettstedt-Eisleben. – Mitteilungen zur Geologie von Sachsen-Anhalt, 4, S. 153–162; Halle.
- KÖNIG, S.: Exkursion durch die Mansfelder Haldenlandschaften. – <https://www.outdooraktive.com/de/route/themenweg/harz/exkursion-durch-die-mansfelder-haldenlandschaften/>. (abgerufen am 6.12.2022).
- LAGB (2008): Geologisch-montanhistorische Karte Mansfeld-Sangerhausen 1:50.000. – 4. Auflage; Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt).
- OERTEL, T. (2003): Untersuchung und Bewertung geogener und anthropogener Bodenschwermetallanreicherungen als Basis einer geoökologischen Umweltanalyse im Raum Eisleben-Hettstedt. – Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle–Wittenberg. – Halle.
- OERTEL, T. & FRÜHAUF, M. (1999): Bedeutung geogener Ursachen für die Schwermetallbelastung von Böden im Mansfelder Land. – Hercynia, N. F., 32, S. 111–126; Halle.
- OERTEL, T. & FRÜHAUF, M. (2000): Haldenvergrabungen als Ursache der Schwermetallbelastung von Böden im Mansfelder Land. – In: HEBESTEDT, E. (Red.) (2000): Bergbau- und Rückstandshalden des Mansfelder Kupferschieferbergbaus. – Schriftenreihe des Mansfeld-Museums, N. F., 5, S. 119–131; Hettstedt (Mansfeld-Museum).
- SCHMIDT, G. (1999): Umweltbelastung durch Bergbau – Der Einfluß der Halden des Mansfelder Kupferschieferbergbaus auf die Schwermetallführung der Böden und Gewässer im Einzugsgebiet Süßer See. – Hallesche Studien zur Geographie, 3, 117 S.; Halle.
- SCHMIDT, G. & FRÜHAUF, M. (1997): Untersuchungen zur Bedeutung der Schwermetallemission aus den Halden des Mansfelder Kupferschieferbergbaus als Ursache von Boden- und Fließgewässerbelastungen. – Hercynia N.F., 30, 2, S. 177–193; Halle.

- SCHMIDT, G. & FRÜHAUF, M. (2000): Die Bedeutung der Halden des Mansfelder Kupferschieferbergbaus als potenzielle Schwermetallemitter. Schriftenreihe des Mansfeld-Museums N.F., S. 73-83; Hettstedt.
- SOMMER, F. (1996): Erfassung des historischen Bergbaugesbietes am Ausgehenden des Kupferschieferflözes im Raum Pölsfeld. – In: LANDESHOMATBUND SACHSEN-ANHALT E.V. (Hrsg.) (1996): Studien zum Altbergbau in der Sangerhäuser Mulde. – Beiträge zur Regional- und Landeskultur Sachsen-Anhalts, 2, S. 32–40; Halle.
- SPILKER, M. (2016): Die Flutung des Bergbaureviers Mansfelder Mulde – eine Sicherheitsmaßnahme zur Minimierung von Umweltschäden. [Die Flutung Mansfelder Mulde \(kupferspuren.eu\)](http://www.kupferspuren.eu)  
[http://www.kupferspuren.eu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=100:die-flutung-mansfelder-mulde&catid=20&Itemid=434](http://www.kupferspuren.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=100:die-flutung-mansfelder-mulde&catid=20&Itemid=434) (abgerufen am 12.04.2023).
- VIEHL, W. (2000): Die Halden als Baustoffe. –Schriftenreihe Mansfeld-Museum, N.F., 5, S. 61–66; Hettstedt.
- VOLKER, F. (2004): Exkursionsführer Mansfeld und Sangerhausen, März 2004. Kapitel „Nach dem Bergbau“.  
<https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb07/fachgebiete/geographie/arbeitsgruppen/physisch/mitarbeiter/volker/lehrveranstaltungen/exkursionen/mansfeld-sangerhausen2004/nachBergbau> (abgerufen am 06.12.2022).
- WAGENBRETH, O. & STEINER, W. (1985): Geologische Streifzüge – Landschaft und Erdgeschichte zwischen Kap Arkona und Fichtelberg. – 204 S., Leipzig (Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).
- WÜRZBURG, H. (2000): Halden als Wirtschaftsfaktor in der Region. – Schriftenreihe Mansfeld-Museum, N. F., 5, S. 15–17; Hettstedt.

#### **Kapitel 2.4**

- BECKER, A., SCHRECK, P. & KLÖCK, W. (2000). Schwermetallführung und Mineralbestand von Bachsedimenten im Mansfelder Land als Indikatoren geogener und anthropogener Schadstoffquellen. – In: WIPPERMANN, T. (eds): Bergbau und Umwelt. Geowissenschaften + Umwelt. – Berlin, Heidelberg (Springer).  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-57228-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-57228-9_8)
- HELBIG, H., AHREND, B. & KAINZ, W. (2020). Flächenbilanzierung anthropogen überprägter Böden in Sachsen-Anhalt. – Bodenschutz, 1/2020, S. 4–14.
- KAINZ, W. (2009): Kupfergehalte in Oberböden unter Ackernutzung in Sachsen-Anhalt. – Bodenformenkatalog. – Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, unveröffentlicht).
- KAINZ, W. (2012): Hintergrundwerte ausgewählter Spurenelemente in Böden Sachsens-Anhalts, Pedochemische Charakteristik des paläozoischen Grundgebirges. – Bericht. – Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, unveröffentlicht).
- KAINZ, W. (2014): Ergebnisse der Bodenzustandserfassung in Sachsen-Anhalt, Referenzstandorte im Bodenbeobachtungssystem des Landes Sachsen-Anhalt. – Bericht. – Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, unveröffentlicht).
- OERTEL, T. & FRÜHAUF, M. (1999): Bedeutung geogener Ursachen für die Schwermetallbelastung von Böden im Mansfelder Land. – Hercynia N.F., 32, 1, S. 111–126; Halle.
- SCHMIDT, G. & FRÜHAUF, M. (1997): Untersuchungen zur Bedeutung der Schwermetallemission aus den Halden des Mansfelder Kupferschieferbergbaus als Ursache von Boden- und Fließgewässerbelastungen. – Hercynia N.F., 30, 2, S. 177–193; Halle.

#### **Kapitel 2.5**

- SCHLEICHER, W. (2002): Beitrag zur Wald- und Forstgeschichte des Harzes in Sachsen-Anhalt und Thüringen. – Schriftenreihe „Wald in Sachsen-Anhalt“ 10/2002. – Magdeburg (Landesforstverwaltung Sachsen-Anhalt).
- SCHNEIDER, A., HIRSCH, F., RAAB, A., BONHAGE, A. & RAAB, T. (2017): Bodenveränderungen durch historische Holzkohleproduktion in Brandenburg. – Poster zur Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 02.–07.09.2017 in Göttingen.
- SCHNEIDER, A., HIRSCH, F., BONHAGE, A., RAAB, A. & RAAB, T. (2019): Verbreitung und Eigenschaften von Meilerböden in Brandenburg. – In: RAAB et al.: Erfassung und Bewertung von vorindustriellen Meilerstandorten – Workshop 19. Februar 2019. Geopedology and Landscape Development Research Series, Volume 08, pp. 23–42.
- SWIEDER, A. (2019): Meilerrelikte als Teil der archäologischen Kulturlandschaft im östlichen Harz. – In: RAAB et al.: Erfassung und Bewertung von vorindustriellen Meilerstandorten – Workshop 19. Februar 2019. Geopedology and Landscape Development Research Series, Volume 08, pp. 43–70.  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Grubenholz>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Fuder>

## **Kapitel 2.6**

FORNAÇON, C. (2004): Vergleich landwirtschaftlich genutzter Flächen mit Aufforstungsflächen unterschiedlichen Alters und Bestandes bezüglich der Schwermetалldynamik im Wirkungsbereich der ehemaligen August-Bebel-Hütte in Helbra. – Diplomarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Fachbereich Geowissenschaften, Institut für Geographie; Halle (unveröffentlicht).

## **Kapitel 3.1.1. und 3.1.2.**

GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT (Hrsg.) (1998): Geologische Karte Harz 1:100.000. Halle.

GRUNOW, H. (1996): Der Bergbaulehrpfad bei Wettelrode. – In: LANDESHEIMATBUND SACHSEN-ANHALT E.V. (Hrsg.)(1996): Studien zum Altbergbau in der Sangerhäuser Mulde. – Beiträge zur Regional- und Landeskultur Sachsen-Anhalts, 2, S. 18–31; Halle.

RAPPSILBER, I. & STEDINGK, K. (2016): Geotourismus im Harz. Geologisch-montanhistorische Karte des Harzes 1:100.000. – 3., neu bearbeitete Auflage; Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt).

RAPPSILBER, I., STEDINGK, K., KÖNIG, S., HECKNER, J. & THOMAE, M. (2007): Geotourismus in den Kupferschieferrevieren. Geologisch-Montanhistorische Karte Mansfeld-Sangerhausen 1:50.000. – 3. Auflage; Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt).

STEDINGK, K., HEROLD, U. & HECKNER, J. (2006): Kupferschieferbergbau und Gipskarst am Südharz (Exkursion I am 21. April 2006). – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, N. F., 88, S. 345–368; Stuttgart.

STROBEL, G., HEROLD, U. & SPILKER, M. (2008): Zur Flutung der Mansfelder Mulde. Eine Nachbetrachtung. – Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen von Sachsen-Anhalt, 15, 112 S.; Halle (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt).

WAGENBRETH, O. & STEINER, W. (1982): Geologische Streifzüge. Landschaft und Erdgeschichte zwischen Kap Arkona und Fichtelberg. – 204 S.; Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).

WOLF, A., SPARFELD, K.-F., DÖLZ, F., SCHRÖDER, W. & HANISCH, K. (1990): Ergebnisbericht Suche Kupferschiefer Raum Sangerhausen. – Geologische Forschung und Erkundung GmbH Halle, 177 Bl., 86 Anlagen; Halle (unveröffentlicht).

## **Kapitel 3.1.3**

BODE, G. (1996): Ausgrabungen im Kupferschieferaltbergbau am Nordrand der Sangerhäuser Mulde. – In: Studien zum Altbergbau in der Sangerhäuser Mulde. – Beiträge zur Regional- und Landeskultur Sachsen-Anhalts, 2, S. 5–17. – Halle.

HAAKE, R., FLACH, S. & BODE, R. (1994): Mineralien und Fundstellen, Deutschland, Teil 2. – Haltern (Bode).

HOFMEISTER, H. (1990): Lebensraum Wald. – 3. Auflage. – Hamburg (Parey).

JUNG, W. & KNITZSCHKE, G. (1974): Zur geochemischen Stoffbilanz des Kupferschiefers im Südostharzvorland. – Zeitschrift für angewandte Geologie, 20, 5, S. 248–256; Berlin.

JUNG, W., KNITZSCHKE, G. & GERLACH, R. (1974): Zu den "Schadstoffkomponenten" Arsen, Antimon, Wismut, Tellur und Quecksilber im Kupferschiefer des Südostharzvorlandes. Zeitschrift für angewandte Geologie, 20, 5, S. 193–211. – Berlin.

OERTEL, T. (2003): Untersuchung und Bewertung geogener und anthropogener Bodenschwermetall-anreicherungen als Basis einer geoökologischen Umweltanalyse im Raum Eisleben-Hettstedt. – Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. – Halle.

OERTEL, T. & FRÜHAUF, M. (1999): Bedeutung geogener Ursachen für die Schwermetallbelastung von Böden im Mansfelder Land. – Hercynia, N. F., 32, S. 111–126; Halle.

OERTEL, T. & FRÜHAUF, M. (2000): Haldenvergrabungen als Ursache der Schwermetallbelastung von Böden im Mansfelder Land. – In: HEBESTEDT, E. (Red.) (2000): Bergbau- und Rückstandshalden des Mansfelder Kupferschieferbergbaus. – Schriftenreihe des Mansfeld-Museums, N. F., 5, S. 119–131; Hettstedt (Mansfeld-Museum).

VOGEL, W. (1976): Die Beziehungen zwischen dem austreichenden Kupferschieferflöz und den Schwermetallgehalten in Hangsedimenten und -böden im südlichen Harzvorland (Gemarkung Pölsfeld) und ihr Einfluss auf die Landwirtschaftliche Nutzung. – Diplomarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg; Halle (unveröffentlicht).

## **Kapitel 3.2.2. und Kapitel 3.2.3.**

Verwendete Quellen zu den Schachtanlagen:

[www.kupferspuren.eu](http://www.kupferspuren.eu), Objekte, Schachtanlagen [http://www.kupferspuren.eu/index.php?option=com\\_k2&view=itemlist&layout=category&task=category&id=3&Itemid=235](http://www.kupferspuren.eu/index.php?option=com_k2&view=itemlist&layout=category&task=category&id=3&Itemid=235)

[Schmid-Schacht – Wikipediahttps://de.wikipedia.org/wiki/Schmid-Schacht](https://de.wikipedia.org/wiki/Schmid-Schacht)

KOCH, L. (Hrsg.) (2022): Quo Vadis Mansfeld. Tradition, Zukunftsstrategien und Handlungsempfehlungen zur wirtschaftlichen Verwertung vorhandener Rohstoff- und Geothermiepotenziale im Landkreis Mansfeld-Südharz.– 257 S.; Teutschenthal (Schäfer Druck & Verlag GmbH).

LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT (2018): Beprobung von Böden aus einem Hettstedter Kindergarten. – Unveröffentlichter Bericht. – Halle.

SCHUBERT, M., MORGENSTERN, P., WENNRICH, R., FREYER, K. & WEISS, H. (2003): The Weathering Behavior of Heavy Metals in Ore Processing Residues (Mansfeld Region, Germany). – *Mine Water and the Environment*, vol. 22: S. 2-6.

#### **Kapitel 3.2.4.**

FORNAÇON, C. (2004): Vergleich landwirtschaftlich genutzter Flächen mit Aufforstungsflächen unterschiedlichen Alters und Bestandes bezüglich der Schwermetalldynamik im Wirkungsbereich der ehemaligen August-Bebel-Hütte in Helbra. – Diplomarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. – Halle (unveröffentlicht).

HOFMEISTER, H. (1990): Lebensraum Wald. – 3. Auflage; Hamburg (Parey).

#### **Kapitel 3.3**

ALTERMANN, M. & H. SCHRÖDER (1992): Zur Kennzeichnung der Schwarzerden aus Löß in Sachsen-Anhalt. – *Kühn-Archiv*, 86, 1, S. 9–20; Hamburg (Parey).

BARTH, N., BORHO, W., CORDSEN, E., HELLER, C., HÖPER, H., LUDWIG, B., MARX, M., MEESENBURG, H., SPÖRLEIN, P. & WELTER, M. (2022): Einrichtung, Betrieb und Auswertung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. – In: ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., KÖNIG, W. & EINSELE, G. (Hrsg.): *Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser*. – Berlin (Erich Schmidt).

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (BMUB): Änderungen gegenüber der geltenden Fassung der BBodSchV – Lesefassung – Stand: 12.01.2011. – Bonn.

LÄGEL, F. (2012): Ursachenanalyse und statistische Signifikanz-Prüfung der Veränderung von Schwermetallwerten auf der Boden-Dauerbeobachtungsfläche 46 Polleben (Sachsen-Anhalt). – Bachelor-Arbeit. – Marburg (Philipps Universität, unveröffentlicht).

LIEBEROTH, I. (1982): *Bodenkunde*. – 3. Auflage; VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

MÜLLER, G., EHWALD, E., FÖRSTER, I., REUTER, G. (1980): *Bodenkunde*. – 1. Auflage; VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

OERTEL, T. (2003): Untersuchung und Bewertung geogener und anthropogener Bodenschwermetallanreicherungen als Basis einer geoökologischen Umweltanalyse im Raum Eisleben-Hettstedt. – Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. – Halle.

Schachtschabel, P., Blume, H.-P., Brümmer, G., Hartge, K.-H. & Schwertmann, U. (1989): *Lehrbuch der Bodenkunde*. – 12. Auflage; Enke-Verlag, Stuttgart.

UTERMANN, J. & FUCHS, M. (2008): Uranium in German Soils. – In: DE KOK, L. & SCHNUG, E. (Hrsg.): *Load and Fate of Fertilizer-Derived Uranium*, S. 33–47; Leiden (Backhuys Publishers).

VERORDNUNG ZUR EINFÜHRUNG EINER ERSATZBAUSTOFFVERORDNUNG, ZUR NEUFASSUNG DER BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALT-LASTENVERORDNUNG UND ZUR ÄNDERUNG DER DEPONIEVERORDNUNG UND DER GEWERBEABFALLVERORDNUNG. – *Bundesgesetzblatt Jahrgang 2021 Teil I Nr. 43, 16. Juli 2021*. – Bonn.

#### **Kapitel 3.4**

[www.kupferspuren.eu](http://www.kupferspuren.eu), [043] Wolfschacht, später Fortschrittschacht.

#### **Anhang 5 – Bodenbiologie**

TISCHER, S. (2010): Regenwürmer als Akkumulationsindikatoren für Schwermetalle unter Berücksichtigung der Standortnutzung. – In: *Gefahrenstoffe, Reinhaltung der Luft*, Bd. 72 (2012), 4, S. 145-154.

KANDELER, E., TSCHERKO, D., BRUCE, K. et al. (2000): Structure and function of the soil microbial community in microhabitats of a heavy metal polluted soil. - Biol Fertil Soils, Bd. 32 (2000), S. 390–400.  
<https://doi.org/10.1007/s003740000268>